

EINFACHE METHODEN
FÜR EINE DIFFERENZIERTE
ADIPOSITASDIAGNOSTIK

Carl-Heinz Müller

*Luss.
München
1986*

AUS DEM INSTITUT FÜR KLINISCHE CHEMIE AM STÄDTISCHEN KRA-
KENHAUS MÜNCHEN HARLACHING

CHEFARZT PROF. DR. MED. LUDWIG WEISS

EINFACHE METHODEN FÜR EINE DIFFERENZIERTE
ADIPOSITASDIAGNOSTIK

INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE IN DER GESAMTEN MEDIZIN
AN DER LUDWIG MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN

VORGELEGT VON
CARL-HEINZ MÜLLER

AUS
TRIER

JAHR
1984

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. L. Weiss
Mitberichterstatter: Prof. Dr. H. Fritz
Dekan: Prof. Dr. W. Spann
Tag der mündlichen Prüfung: 25.04.1985

1.0 Einleitung

1.1 Aufgaben und Ziele

1.2 Methodik

1.3 Aufbau

1.4 Zusammenfassung

Meinen Eltern

2.0 Inhalt

2.1 Beschreibung der Zielsetzung

2.2 Zielvorgabe

2.3 Zielumsetzung und -überwachung

2.4 Zielumsetzung und -überwachung

2.5 Zielumsetzung und -überwachung

3.0 Ergebnisse

3.1 Zielumsetzung und -überwachung

3.2 Zielumsetzung und -überwachung

3.2.1 Zielumsetzung und -überwachung

3.2.2 Zielumsetzung und -überwachung

3.2.3 Zielumsetzung und -überwachung

3.2.4 Zielumsetzung und -überwachung

3.3 Zielumsetzung und -überwachung

3.3.1 Zielumsetzung und -überwachung

3.3.2 Zielumsetzung und -überwachung

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1.0 EINLEITUNG	1
2.0 MATERIAL UND METHODEN	4
2.1 Versuchspersonen	4
2.2 Geräte	4
2.3 Reagenzien	5
2.4 Methoden	5
2.4.1 Berechnung der Gewichtsindizes	5
2.4.2 Calipermessungen	7
2.4.3 Bestimmung der fettfreien Masse aus der 24-Std.-Creatininausscheidung	10
2.4.4 Anthropometrische Methode zur Bestimmung des Körpergewichts	11
2.4.5 Bestimmung der Fettzellgröße	12
3.0 ERGEBNISSE	17
3.1 Calipermessungen an schlanken Personen	17
3.2 Bestimmung der Creatininausscheidung bei schlanken Personen	17
3.2.1 Methodenvergleich	17
3.2.2 Entwicklung einer kinetischen, enzymatischen Methode zur Creatininbestimmung im Urin	20
3.2.3 Einfluß von Störsubstanzen	22
3.2.4 Bestimmung der Fettmasse aus der Creatininaus- scheidung im Urin	23
3.3 Anthropometrische Messungen an schlanken Personen	27
3.3.1 Theoretisches Modell	27
3.3.2 Entwicklung eines anthropometrischen Modells zur Bestimmung der fettfreien Masse (FFM)	30

3.3.3	Bestimmung der fettfreien Masse (FFM) und der Fettmasse	32
3.3.4	Richtwerte für Körperumfänge	36
3.3.5	Berechnung des Idealgewichts aus der fettfreien Masse (FFM)	36
3.4	Fettzellmessungen an schlanken Personen	38
3.4.1	Messungen in der Abdominalregion	38
3.4.2	Regionaler Fettzellindex	44
3.4.3	Messungen in anderen Körperregionen	45
3.5	Messungen an adipösen Personen	46
3.6	Messungen an Kindern	49
3.7	Messungen an Skulpturen der Glyptothek München	54
4.0	DISKUSSION	58
5.0	ZUSAMMENFASSUNG	74
6.0	LITERATUR	76

ABKÜRZUNGEN

ADP	Adenosindiphosphatsäure
ATP	Adenosintriphosphatsäure
CK	Creatinkinase
cm	Zentimeter
d	Durchmesser
D	Dichte
FFM	fettfreie Masse
FM	Fettmasse
g	Gramm
h	Körpergröße
kg	Kilogramm
LDH	Lactat-dehydrogenase
m	Meter
mg	Milligramm
ml	Milliliter
mmol	Millimol
$\text{NAD}^+/\text{NADH}+\text{H}^+$	Nikotinsäureamidadenindinukleotid oxidiert/reduziert
nm	Nanometer
PEP	Phosphoenolpyruvat
PK	Pyruvatkinase
s	Summe der Körperumfänge
Std.	Stunden
U	Unit (μMol Substratumsatz min^{-1} bei 25° Celsius)
μg	Mikrogramm
μl	Mikroliter
μm	Mikrometer

1.0 EINLEITUNG

Die Adipositas mit ihren zahlreichen Begleit- und Folgeerkrankungen steht seit Jahrzehnten im Mittelpunkt der Diskussion um verminderte Lebenserwartung und Verlust der Lebensqualität. Aufgrund der allgemein unbefriedigenden Langzeitergebnisse bei der Behandlung Adipöser kommt der Prävention auf diesem Gebiet besonders große Bedeutung zu.

Dies erfordert jedoch eine verbesserte und praktikablere Adipositasdiagnostik, da die derzeit zur Verfügung stehenden Methoden teils zu aufwendig, teils zu wenig aussagekräftig sind. Die exakte Bestimmung der Fettmasse ist direkt erst post mortem möglich (16, 18). Am Lebenden können nur indirekte Methoden angewandt werden, so z.B. die Bestimmung des Gesamtkörperwassers mittels Isotopenverdünnung von $^3\text{H}_2\text{O}$ (23, 36) oder D_2O (20, 47), der Körperzellmasse über die Messung des natürlichen Kaliumisotops ^{40}K (13, 29), durch Verdünnungsanalyse nach Injektion von ^{42}K (14, 37) und auch die direkte Messung der totalen Körperfettmasse mit inerten Gasen wie Cyclopropan (32) oder ^{85}Kr (26, 32).

All diese Methoden eignen sich jedoch nicht zur routinemäßigen Diagnostik der Adipositas, da sie nur in Speziallaboratorien durchgeführt werden können. Außerdem muß auf die Gefahren der ionisierenden Strahlen von ^{42}K , ^{85}Kr und Tritium hingewiesen werden.

Im allgemeinen begnügt man sich bei der Adipositasdiagnostik mit der Angabe des sogenannten Übergewichts, das sich absolut in kg oder als Quotient aus dem tatsächlichen Gewicht und einem Standard- oder Idealgewicht ausdrücken läßt. Solche Quotienten werden als Indizes wie zum Beispiel Broca-Index (21) oder Massenindex (21) bezeichnet (siehe Seite 6).

Der Metropolitan-Index (21, 11) wurde von amerikanischen Lebensversicherungsgesellschaften in langjährigen statistischen Erhebungen innerhalb eines großen Kollektivs ermittelt. Dabei wurden Idealgewichtsbereiche mit einer Spanne von ca. 15 kg festgelegt, innerhalb derer für die Versicherten eine hohe Lebenserwartung bestand. Das Auswahlkriterium war hierbei der Körperbau, der im wesentlichen durch die fettfreie Körpermasse geprägt wird. Mit dem Metropolitan-Idealgewicht, dem Broca-Index oder dem Massenindex ist jedoch eine Beurteilung grenzwertig adipöser Personen nicht möglich. Dies hat vor allem folgende Gründe:

1. Alle herkömmlichen Idealgewichtsempfehlungen setzen vereinfachend voraus, aus Gewicht und Größe könne die Lebenserwartung abgeschätzt werden. Da dies weder im Einzelfall noch in unterschiedlichen Kollektiven zutrifft, wurden aus verschiedenen Mortalitätsstudien völlig unterschiedliche Richtwerte für das sogenannte Idealgewicht abgeleitet.
2. Das Körpergewicht korreliert nur sehr locker mit der

Fettmasse bzw. mit dem Adipositasgrad, da der fettfreie Anteil der Körpermasse starken Schwankungen unterliegt. Die Körpergröße, aus der sich das Idealgewicht normalerweise errechnet, ist als Maß für diesen fettfreien Anteil viel zu ungenau.

3. Gewichtsnormen vernachlässigen die Besonderheiten der Fettzellverteilung im Körper. So hat sich in der medizinischen Literatur (10, 42) mittlerweile die Meinung durchgesetzt, daß die Fettzellzahl des Erwachsenen weitgehend konstant ist, während sich die Fettzellgröße bei Fetteinlagerung oder -abbau verändert.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, vier einfache Methoden zur Bestimmung der Fettmasse (FM), der fettfreien Masse (FFM), des Idealgewichts und der Fettzellgröße zu überprüfen und weiterzuentwickeln:

1. Die Calipermessungen nach Durnin und Womersley (15).
2. Die Bestimmung der Creatininausscheidung mit Berechnung der fettfreien Masse nach Miller und Blyth (35).
3. Die anthropometrische Bestimmung des Körpergewichts (2) und der fettfreien Körpermasse.
4. Die Fettzellvermessung im Nativpräparat mit Hilfe des Mikroskops nach Sjöström et al. (43).

Die hier vorgestellten Methoden sollen auch den nicht spezialisierten Arzt in die Lage versetzen, bei vertretbarem Aufwand an Zeit und Arbeit eine differenzierte Adipositasdiagnostik zu betreiben.

2.0 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Versuchspersonen

Insgesamt nahmen 55 Frauen im Alter von 18 bis 45 Jahren und 48 Männer im Alter von 18 bis 49 Jahren an den Messungen zur anthropometrischen Gewichtsbestimmung teil.

Zusätzlich wurden 10 Mädchen und 4 Jungen im Alter von 10 bis 12 Jahren vermessen.

5 adipöse Männer und 2 adipöse Frauen unterzogen sich einer stationären Reduktionsdiät.

Autopsiematerial zur Fettzellvermessung wurde von 2 schlanken und 2 adipösen Frauen im Alter von 40 bis 65 Jahren entnommen.

2.2 Geräte

Es wurden folgende Geräte verwendet:

- Zeiss-Mikroskop mit graduierstem 8-fach-Okular sowie 10-fach und 40-fach vergrößerndem Objektiv
- Zeiss-Objektivmikrometer Nr. 5 + 100/100 mm
- Okularmikrometer-Zeiss Nr. C 8
- Deckgläser
- Objektträger mit aufgeklebtem Plastikring (Durchmesser 1,5 cm, Höhe 5 mm)
- 10 ml und 2 ml Rekordspritzen

- Rekordnadeln TSK-Supra 1,5 x 5 mm (Fa. Hauptner, München)
- Rekordnadeln TSK-Supra 0,55 x 2,5 mm (Fa. Hauptner, München)
- Holtain-Caliper (Fa. Holtain-Ldt. Crosswell, England)
- Maßband
- geeichte Personenwaage
- Eppendorf Kinetikautomat ACP 5040
- Beckmann Analysenautomat Astra 4
- Technicon Autoanalyser SMA II
- Eppendorf Photometer mit Filter 334 nm

2.3 Reagenzien

- Testkombination Creatinin enzymatisch (Fa. Boehringer, Mannheim GmbH Nr. 166413)
- sterile Krebs-Ringer-Lösung (Fa. Fresenius, Bad Homburg)
- Ultracain^R 1%-Suprarenin^R (Fa. Hoechst, Frankfurt)
- Pikrinsäurereagenz zur Creatininbestimmung nach Jaffé der Firmen Beckmann (USA) und Technicon (USA).

2.4.0 Methoden

2.4.1 Berechnung der Gewichtsindizes

Morgens vor dem Frühstück wurden bei allen Versuchspersonen folgende Größen gemessen:

- Körpergewicht (kg) mit einer geeichten Personenwaage
- Körpergröße (cm) und verschiedene Körperumfänge (siehe Abschnitt 3.3)
- Hautfaltensumme mit einem Caliper (siehe Abschnitt 3.1)

Anschließend Entnahme einer Fettzellprobe (siehe Abschnitt 2.4.5).

Aus der Körpergröße (cm) und dem Körpergewicht (kg) konnten verschiedene Indizes abgeleitet werden:

1. Der nach dem französischen Chirurgen Broca benannte Broca-Index:

$$\frac{\text{Gewicht (kg)}}{\text{Körpergröße (cm)} - 100 \text{ (cm)}}$$

Dabei ist der Index 1 = 100 %, wenn das Körpergewicht der Körpergröße minus 100 cm entspricht.

2. Der Massenindex:

$$\frac{\text{Gewicht (kg)}}{\text{Körpergröße}^2 \text{ (m}^2\text{)}}$$

3. Der Metropolitan-Index:

$$\frac{\text{Gewicht (kg)}}{\text{Idealgewicht (kg)}}$$

Er beträgt 1 = 100 %, wenn Gewicht (kg) und Idealgewicht übereinstimmen. Das Idealgewicht (kg) wird aus der Idealgewichtstabelle der Statist. Bull. Metrop. Life Insur. Co., 40, Nov.-Dez. (1959) entnommen (11, 48).

2.4.2 Calipermessungen

Der Caliper ähnelt einer Zange. Zwischen seinen Backen wird eine in Längsrichtung abgehobene Hautfalte mit definiertem, fest eingestelltem Druck gehalten und der Abstand der beiden Backen und damit der Faltdurchmesser auf einer Skala in Millimetereinteilung abgelesen.

Entsprechend der Originalvorschrift (15) wurden folgende Körperstellen gemessen:

- Biceps: am hängenden Arm auf halber Höhe der Medianlinie zwischen Achsel und Ellenbeuge.
- Triceps: am hängenden Arm auf halber Höhe der Medianlinie zwischen Schulter und Ellenbeuge.
- Subscapular: unmittelbar unterhalb der unteren Schulterblattspitze.
- Suprailiacal: unmittelbar oberhalb des Beckenkamms in der Medioaxillarlinie.

Die genannten Hautfalten wurden jeweils rechts und links gemessen und gemittelt. Damit wurden mögliche Seitendifferenzen in die Messung mit einbezogen. Mit Hilfe einer nach Lebensalter und Geschlecht unterteilten Tabelle (1), welche auf Messungen der Körperdichte basiert (1), wurde aus der Summe der 4 Mittelwerte die Körperfettmasse in Prozent der Körpermasse abgeschätzt.

Tab. 1: Bestimmung der Fettmasse in % aus der Hautfaltensumme nach Durnin und Womersley (15)

Hautfaltensumme (mm)	Fettmasse in % des Körpergewichts					
	Männer (Jahren)			Frauen (Jahren)		
	< 30	30-50	> 50	< 30	30-50	> 50
20	8	12	13	14	18	21
30	13	17	19	20	23	27
40	16	20	23	23	27	30
50	19	23	27	27	30	33
60	21	25	29	29	32	36
80	25	29	34	33	36	40
100	28	32	37	36	38	43
120	30	34	40	39	41	45
140	32	36	43	41	43	47
160	34	38	45	43	45	49

Tabelle 2 zeigt den Höchst-, Median- und Tiefstwert der einzelnen Fettfalten der je 15 männlichen und weiblichen schlanken Personen.

Tab. 2: Median (b), Höchst- (a) und Tiefstwert (c) der Hautfaltenmessungen nach Durnin und Wommersley (15), jeweils rechts (r) und links (l) in mm gemessen

		Triceps-falten		Biceps-falten		Subscapular-falten		Suprailiacal-falten	
		r	l	r	l	r	l	r	l
Männer (n=15)	a	18,0	16,0	7,4	8,6	12,0	12,0	21,0	21
	b	7,5	8,0	3,0	4,0	9,0	9,5	13,0	14
	c	4,5	4,5	2,4	2,2	5,4	5,8	6,0	5,6
Frauen (n=15)	b	18,5	18,2	10,0	11,0	12,5	13,0	17,0	16,0
	c	14	14,5	6,0	6,0	10,0	10,2	10,0	9,5
	a	9,0	8,0	3,0	3,0	7,0	8,5	5,0	5,0

In der Literatur wird die Meßungenauigkeit der Calipermethode bemängelt (11). Deshalb haben wir 6 männliche Versuchspersonen von 6 unabhängigen Untersuchern vermessen lassen. Die Unterschiede betrugen nur maximal 11 mm bzw. 4 kg der Fettmasse (Tab. 3).

Tab. 3: Reproduzierbarkeit der Calipermessungen in mm (a) und kg der Fettmasse (b) an 6 männlichen Versuchspersonen. Die Messungen wurden von 6 unabhängigen Untersuchern A, B, C, D, E und F vorgenommen.

Gewicht		63	73	72	78	66	65
Alter		25	26	28	33	38	24
A	a	31	44	32	44	45	33
	b	13,0	17,5	13,5	17,5	21,5	14,0
B	a	29	48	31	45	41	36,0
	b	13,0	18,5	13,0	17,5	20,0	15,0
C	a	31	45	35	42	39	35
	b	13,0	17,5	14,5	16,5	20,0	14,5
D	a	34	50	28	46	48	36
	b	14,5	19,0	12,0	18,5	22,5	15,0
E	a	35	46	36	49	48	38
	b	14,5	18,0	15,0	19,0	22,5	15,5
F	a	33	52	39	43	46	40
	b	14,0	19,5	16,0	17,0	22,0	16,0

2.4.3 Bestimmung der fettfreien Masse aus der 24-Std.- Creatininausscheidung

Morgens um 7.00 Uhr entleerten die Versuchspersonen die Blase. Danach wurde der Urin bis zum darauffolgenden Morgen (7.00 Uhr) gesammelt. Um konstante Versuchsbedingungen einhalten zu können, mußten die Versuchspersonen folgende Vorschriften beachten:

- Vermeidung körperlicher Anstrengungen
- kein Verzehr von Fleisch und Konservennahrung am Vortag und Versuchstag
- Verzicht auf Alkohol und Medikamente

Pathologisch veränderte Urine sollten ausgeschlossen werden. Deshalb überprüften wir alle Urine mit einem Teststreifen (Combur 8^R, Fa. Boehringer, Mannheim) auf das Vorhandensein von Glucose, Eiweiß, Ketonkörpern, Bilirubin, Urobilinogen und Blut.

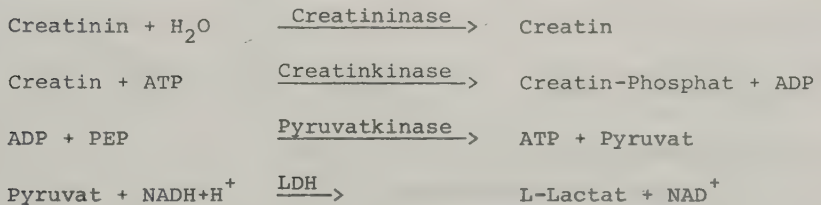
Aus der Creatininausscheidung im 24-Std.-Urin errechneten wir die fettfreie Masse (FFM) nach Miller und Blyth (35):

$$\text{FFM (kg)} = 21,5 \cdot \text{Creatinin (g/24-Std.)} + 21$$

Für die Creatininbestimmung im Urin wurden drei verschiedene Verfahren überprüft:

1. Die Creatininbestimmung mit der kinetischen Jaffé-Methode am Mehrkanalanalysator Astra 4 (Fa. Beckmann, USA).

2. Die automatisierte Version der Endpunktmethode mit Dialyse am Autoanalyser SMA II (Fa. Technicon, USA).
3. Die 1972 von Wahlefeld et al. (46) entwickelte enzymatische Methode, die auf folgendem Prinzip beruht:



Für den enzymatischen Creatinintest verwendeten wir die Testkombination Boehringer, Best.-Nr. 166413.

2.4.4 Anthropometrische Methode zur Bestimmung des Körpergewichts

Das Körpergewicht wird im allgemeinen auf einer Waage bestimmt. Man kann es auch mit Hilfe anthropometrischer Formeln berechnen (11).

Nach Behnke et al. (2) benötigt man einige Umfangssummen und die Körpergröße.

Bei Messungen von acht Körperumfängen, nämlich

- Schulter (Arme hängend)
- Oberarm (Biceps-Mitte)
- Unterarm (ca. 5 cm distal vom Ellenbogen, gestreckt)

- Handgelenk (Minimalumfang)
- Unterschenkel (Maximalumfang der Wade)
- Knöchel (Minimalumfang oberhalb der Fußknöchel)
- Bauch (Atemmittellage, umbilical)
- Gesäß

gilt:

$$G_{\text{Frauen}} = 2,34 \cdot s^2 h, \quad G_{\text{Männer}} = 2,30 \cdot s^2 h$$

wobei G = Gewicht (kg),

s = Summe der Körperumfänge (m) und

h = Körpergröße (m) ist.

Bei der Vermessung wurde darauf geachtet, daß das Maßband immer straff anlag.

2.4.5 Bestimmung der Fettzellgröße

Fettgewebsbiopsie

Sjöström et al. (43) entwickelten ein relativ einfaches, jedoch zeitaufwendiges Verfahren zur Präparation der Fettgewebsproben. Erst nach Anfertigung eines Gefrierschnittes kann man die Fettzellen ohne Anfärbung in einer Krebs-Ringer-Lösung unter dem Mikroskop auswerten (43).

Davon ausgehend haben wir ein Verfahren erarbeitet, das jederzeit innerhalb von ca. 30 Minuten ambulant durchgeführt werden kann:

Die Fettgewebsprobe wurde mittels Nadelbiopsie gewonnen.

Dazu wurde eine 10 ml-Injektionsspritze mit 1-2 ml steriler Krebs-Ringer-Lösung aufgezogen und mit einer 1,5 · 5 mm Kanüle versehen. Als einfach zu definierende Biopsiestelle wählten wir den etwa in der Mitte zwischen Nabel und Spina iliaca anterior superior links liegenden Punkt. Nach vorangehender Desinfektion wurde mit 1-2 ml Ultracain^R eine Intracutanästhese (2 ml Rekordspritze, 0,55 · 2,5 mm Kanüle) gesetzt. In Längsrichtung des linken Leistenkanals wurde eine Hautfalte abgehoben, die Biopsienadel im Winkel von 30° eingestochen, unter Aspiration 2-3 cm vorgeschoben und dann schnell herausgezogen. Dabei mußte der Unterdruck bis zuletzt aufrechterhalten werden. So erhielten wir Fettgewebeproben von ca. 1 mm Durchmesser, die sofort mikroskopiert werden konnten.

Mikroskopiertechnik

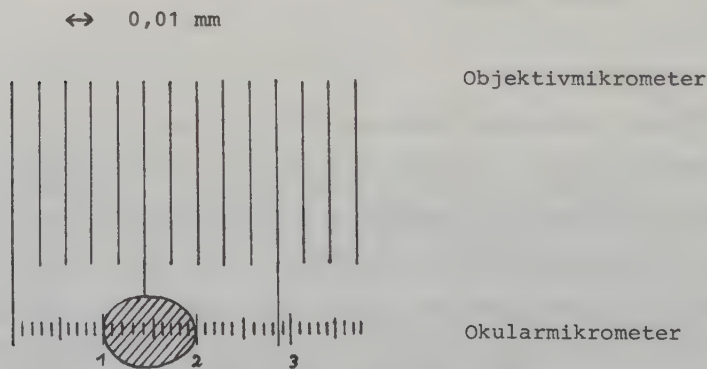
Auf einem Objektträger wurde ein Plastikring von ca. 1,5 cm Durchmesser und 0,5 cm Höhe geklebt, mit Krebs-Ringer-Lösung gefüllt und die Gewebeprobe eingelegt. Diese entfaltete sich sofort und schwamm oben auf. Nach Abdecken des Plastikrings mit einem Deckgläschen konnte man die Probe im Durchlicht des Mikroskops betrachten. In den vorliegenden Fettzelluntersuchungen verwendeten wir ein Zeiss-Mikroskop mit einem graduierten 8-fach-Okular und 10-fach bzw. 40-fach vergrößernden Objektiven. Die zu vermessenden kreisrunden Zellen mußten mit der Skala des Okulars zur Deckung gebracht und fokussiert werden, so daß der Durch-

messer in Skalenteilen abgelesen werden konnte. Die Eichung für die Umrechnung in μm erfolgte über ein Objektivmikrometer (Zeiss Nr. 5 + 100/100 mm). Dazu brachten wir die in μm geeichte Skala des Objektivmikrometers mit der Skala des Okularmikrometers (Zeiss C 8) bei der für die Fettzellausmessung vorgesehenen Mikroskopiervergrößerung (320 fach) zur Deckung.

Beispiel:

Objektivmikrometer, Länge 1 mm, unterteilt in 100/100 mm von Teilstrich zu Teilstrich $0,01 \text{ mm} = 10 \mu\text{m}$.

Okularmikrometer, unterteilt in 0 bis 10, mit je 10 Teilstrichen.



Rechnung:

Es entsprechen 2,85 Okularmikrometermaßstabeinheiten gleich 10 Objektivmikrometer-teilstriche.

2,85 Okularmikrometerenteilstriche = 0,01 mm = 10 μm

2,85 · Faktor = 10 μm Faktor = $\frac{10}{2,85} = 3,5$

Formel zur Bestimmung des Fettzell-Lipidgehalts (μg)

Nach Sjöström et al. (43) läßt sich die Fettzelle als Kugel idealisiert darstellen.

Somit stehen Fettzelldurchmesser (d), -volumen (μm^3) und -gewicht (μg) in enger Beziehung zueinander:

$$\text{Kugelvolumen} = \pi/6 \cdot d^3$$

$$\text{Gewicht } (\mu\text{g}) = \text{Volumen} \cdot \text{Dichte}$$

wobei eine mittlere Dichte (D) von 0,91 g/cm³ (12) angenommen wird. Daraus errechnet sich das Gewicht einer einzelnen Fettzelle nach folgender Gleichung:

$$\text{Gewicht } (\mu\text{g}) = 0,91 \cdot 10^{-6} \text{ } (\mu\text{g}/\mu\text{m}^3) \cdot \pi/6 \cdot d^3$$

Die Fettzellzahl ergibt sich theoretisch aus dem Quotienten Fettmasse dividiert durch Fettzellgewicht (zur Diskussion dieser Meßgröße siehe Abschnitt 4.0).

Bei der Bestimmung des Fettzelldurchmessers achteten wir besonders auf regionale Besonderheiten (Nester vergrößerter Zellen, einzelne Riesenzellen) und darauf, daß die Zellen nicht allzu sehr von der üblichen Kreisform abwichen. Außerdem mieden wir Randbezirke der Proben, da es hier zu Zellschrumpfungen kam (siehe Abschnitt 3.4.2). So wurden mindestens 50 Zellen ausgemessen. Bei Adipösen war

es wegen der unregelmäßigen Verteilung der Fettzellen notwendig, 100 bis 200 Zellen zu vermessen. Erst dann konnte man sich ein sicheres Bild über die Größenverteilung machen.

3.0 ERGEBNISSE

3.1 Calipermessungen an schlanken Personen

Die Methode von Durnin und Womersley (15) wurde an je 15 weiblichen und 15 männlichen, schlanken Versuchspersonen überprüft (Tab. 4 u. 5). Danach lag die Fettmasse schlanker Frauen bei 19 bis 28 %, diejenige schlanker Männer bei 12 bis 21 % der Körpermasse.

3.2 Bestimmung der Creatininausscheidung bei schlanken Personen

Creatinin ist das Abbauprodukt des Creatins, dessen Hauptmenge im Muskel vorkommt (17, 24). Es wird mit dem Urin ausgeschieden. Bei fleischfreier Ernährung und minimaler körperlicher Aktivität stellt die Creatininausscheidung somit ein Maß für die Muskelmasse und damit auch für die fettfreie Körpermasse dar (35).

3.2.1 Methodenvergleich

Von den verschiedenen Methoden zur Creatininbestimmung im Urin wurden drei miteinander verglichen, nämlich

A = die Endpunktmethode nach Jaffé (27, 40) mit Dialyse am SMA II (Technicon, USA)

Tab. 4: Caliper- und Umfangsmessungen an 15 schlanken männlichen Referenzpersonen.
Die Messung der Calipersumme ist in Abschnitt 2.4.2 beschrieben. Die Fettmasse wurde aus Tab. 1 ermittelt.

Größe (cm)	Gewicht (kg)	Metropol.- Index	Broca- Index	Massen- Index	Caliper- summe (mm)	Umfangs- summe* (cm)	Fettmasse (kg)	Fettmasse (%)
178	63	0,9	0,81	19,9	53	270	15	23
182	73	1,0	0,89	22,0	27	286	8	12
171	63	0,98	0,89	21,5	31	284	8	13
184	73	0,97	0,87	21,6	44	291	12	16
177	72	1,04	0,94	23,0	32	310	8	11
180	71	1,0	0,89	21,9	36	298	11	15
176	63	0,94	0,84	20,7	28	276	8	13
184	73	0,97	0,87	21,6	43	296	15	21
187	78	1,01	0,90	22,3	44	297	16	21
181	65	0,90	0,80	19,8	33	283	9	14
184	67	0,89	0,80	19,8	30	290	9	13
182	71	0,97	0,87	21,4	23	296	7	12
175	63	0,93	0,84	20,6	28	281	8	12
192	72	0,89	0,78	19,5	34	294	10	14
174	66	0,99	0,89	21,8	45	286	14	21
$\bar{x}$ 181	69	0,96	0,86	21,2	35	289	11	15

* Die Messung der Umfangssumme ist in Abschnitt 3.3.3 beschrieben

Tab. 5: Caliper- und Umfangsmessungen an 15 schlanken weiblichen Referenzpersonen.
Die Messung der Calipersumme ist in Abschnitt 2.4.2 beschrieben. Die Fettmasse wurde aus Tab. 1 ermittelt.

Größe (cm)	Gewicht (kg)	Metropol.- Index	Broca- Index	Massen- Index	Caliper- summe (mm)	Umfangs- summe* (cm)	Fettmasse (kg)	(%)
172	62	1,02	0,86	21,0	37	274	13	21
170	52	0,87	0,74	18,0	38	249	12	23
171	52	0,86	0,73	17,8	33	254	11	21
170	61	1,01	0,87	21,1	37	263	15	25
165	53	0,95	0,82	19,5	46	248	13	24
170	60	1,0	0,86	20,8	43	261	16	25
168	59	1,02	0,87	20,9	42	263	14	24
171	57	0,94	0,8	19,5	42	258	13	23
156	49	0,98	0,88	20,1	49	246	13	26
170	54	0,9	0,77	18,7	32	263	11	20
162	53	0,98	0,85	20,2	40	254	13	25
166	58	1,04	0,88	21,0	49	265	15	26
164	52	0,95	0,81	19,3	34	243	11	21
168	46	0,79	0,68	16,3	34	227	10	22
172	61	1,0	0,85	20,6	56	252	17	28
$\bar{x}$ 168	55	0,95	0,82	19,7	41	255	13	23

* Die Messung der Umfangssumme ist in Abschnitt 3.3.3 beschrieben.

- B = eine kinetische Jaffé-Version am Astra 4 (Beckman, USA)
C = die enzymatische Endpunktmethode (46) als manuelle
Testversion

Tab. 6: Methodenvergleich für die Creatininbestimmung im
Urin (mg/dl), Einzelheiten siehe Text

	A	B	C
Urin	121	96	97
Urin	59	62	61
Urin	122	120	117
Urin	135	87	89
Urin	80	68	67

Während die kinetische Jaffé-Methode mit der enzymatischen Bestimmung gut übereinstimmte, lieferte die Endpunktmethode zum Teil zu hohe Werte (Tab. 6). In drei Fällen (Methode A 121, 135 und 80 mg/dl, Methode C 97, 89 und 67 mg/dl) waren Ketonkörper mit dem Teststreifen (Combur 8^R, Fa. Boehringer Mannheim) zweifach positiv nachweisbar (zum Einfluß von Störsubstanzen siehe Abschnitt 3.2.3).

3.2.2 Entwicklung einer kinetischen, enzymatischen Methode zur Creatininbestimmung im Urin

Die enzymatische Endpunktmethode ist zwar im Gegensatz zu den Jaffé-Methoden spezifisch für Creatinin (40), jedoch

relativ arbeitsaufwendig, da Proben- und Reagenzienleerwerte berücksichtigt werden müssen. Deshalb haben wir eine kinetische, enzymatische Creatininmethode für den Eppendorf-Analysenautomaten ACP 5040 ausgearbeitet, die die Geschwindigkeit und Einfachheit der kinetischen Bestimmung mit der Spezifität der enzymatischen Methode verbindet.

Zur Herstellung des Reaktionsgemisches für 25 Bestimmungen wurden benötigt:

Lösung 1 (Puffer)

Glycin	100 mmol/l
Kaliumphosphat	75 mmol/l, pH 8,0
Detergenz	2,5 mmol/l

Lösung 2 (Substrate)

NADH	12 mmol/l
ATP	66 mmol/l
PEP	22 mmol/l

Lösung 3 (Hilfsenzyme)

CK	$\geq$ 500 U/ml
PK	$\geq$ 200 U/ml
LDH	$\geq$ 500 U/ml
MgCl ₂	100 mmol/l

25 ml Lösung 1 und 0,5 ml Lösung 2 wurden mit 0,5 ml Lösung 3 gemischt.

Lösung 4 (Startreagenz)

Creatininase	$\geq$ 500 U/ml
--------------	-----------------

diente als Startreagenz und wurde mit Lösung 1 (Puffer) 11-fach verdünnt, um ein ausreichend großes Startreagenz-

volumen von 25 μ l pipettieren zu können.

Wir stellen einen Creatininstandard (2,0 g/l) her, indem wir Creatinin (Serva-Heidelberg) in Wasser oder zur besseren Stabilität in Precimat-Creatinin^R (Fa. Boehringer, Mannheim) lösen.

Der ACP wurde wie folgt eingestellt:

- Temperatur 25° C
- Takt 30 sec, Filter 334 nm, Abgleich 2,0
- Rotordrehung 1, Auswerte-Nr. 0, Spülposition 18
- Startposition 3

Das Probenvolumen betrug 5 μ l, das Reagenzvolumen 500 μ l und das Startreagenz 25 μ l.

Bei den genannten Einstellungen wird das Startreagenz nach einer Vorinkubationszeit von 6 Minuten hinzugegeben.

3.2.3 Einfluß von Störsubstanzen

Der Einfluß von Störsubstanzen auf die Creatininbestimmung mit der kinetischen Jaffé-Methode und der von uns modifizierten kinetischen, enzymatischen Methode (D) ist aus Tab. 7 ersichtlich.

Wegen der guten Übereinstimmung der beiden Methoden konnten wir für die Fettmassenbeurteilung beide Verfahren verwenden. Die Substanzen, die bekanntlich (9) die Jaffé-Endpunkt-methode stören, haben nach unseren Untersuchungen bis zu den angegebenen Konzentrationen auf die Methoden B und

D keinen Einfluß.

Tab. 7: Einfluß von Störsubstanzen auf die Creatininbestimmung am Astra 4 (B) und ACP 5040 (D)

Substanz	Konzentration (mmol/l)	Creatinin (g/l)	
		B	D
Kontrolle	-	0,68	0,68
Glukose	110	0,68	0,68
α -Methyldopa	2	0,69	0,72
Acetoacetat	10	0,69	0,72
Pyruvat	10	0,67	0,73

3.2.4 Bestimmung der Fettmasse aus der Creatininausscheidung im Urin

Aus Tab. 8 geht hervor, daß die mit dem Caliper (siehe Abschnitt 2.4.2) ermittelte und die nach Miller und Blyth (35) aus der 24-Std.-Creatininausscheidung errechnete Fettmasse (Körpergewicht minus fettfreie Masse) bei den 6 Männern gut übereinstimmten.

Dies war bei den in Tab. 9 aufgeführten 9 Frauen nicht der Fall. Hier ergab die 24-Std.-Creatininausscheidung zum Teil vergleichsweise höhere Werte für die fettfreie Masse (FFM) und damit zu niedrige für die Fettmasse.

Eicht man die Kalkulation an den Ergebnissen der Calipermessungen, so ergab sich folgende modifizierte Regressionsgleichung für die fettfreie Masse (FFM) der Frauen (Abb. 1):

Tab. 8: Fettfreie Masse (FFM) und Mettmasse, ermittelt aus Creatinin (A) nach Miller und Blyth (siehe Abschnitt 2.4.3) und aus Calipermessungen (B) (siehe Abschnitt 3.1) bei 6 schlanken Männern im Alter von 24 bis 45 Jahren (FFM = Körpergewicht minus Fettmasse)

Gewicht (kg)	Größe (cm)	Broca- Index	Massen- Index	Metropolitan- Index	FFM (kg)		Fettmasse (kg)	
					A	B	A	B
63	176	0,83	20,3	0,93	53	55	10	8
73	184	0,86	21,6	0,97	59	61	14	12
72	177	0,94	23,0	1,04	63	62	9	10
71	180	0,89	21,9	1,00	60	60	11	11
64	176	0,84	20,7	0,94	60	56	4	8
73	184	0,87	21,6	0,97	61	58	12	15

Tab. 9: Fettfreie Masse (FFM) und Fettmasse, ermittelt aus Creatinin (A) nach Miller und Blyth (siehe Abschnitt 2.4.3) und aus Calipermessungen (B) (siehe Abschnitt 3.1) bei 9 schlanken Frauen im Alter von 23 bis 36 Jahren (FFM = Körpergewicht minus Fettmasse)

Gewicht (kg)	Größe (cm)	Broca- Index	Massen- Index	Metropolitan- Index	FFM (kg)		Fettmasse (kg)	
					A	B	A	B
62	172	0,86	21,0	1,02	52	49	10	13
52	170	0,74	18,0	0,87	43	40	9	12
52	171	0,73	17,8	0,86	48	41	4	11
61	170	0,87	21,1	1,01	49	46	12	15
53	165	0,82	19,5	0,95	48	40	5	13
57	171	0,80	19,5	0,94	47	44	10	13
60	166	0,91	21,8	1,07	48	44	12	16
59	166	0,89	21,4	1,05	50	45	9	14
56	172	0,78	18,9	0,91	47	47	9	9

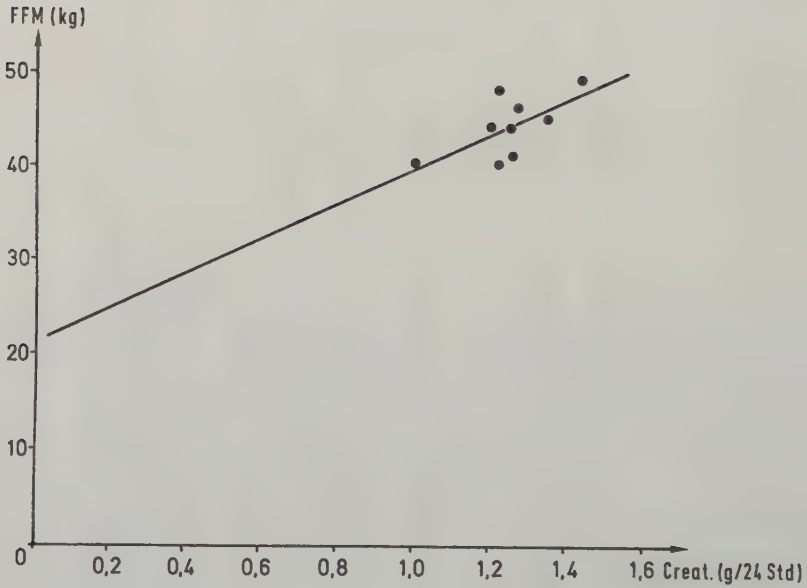


Abb. 1: Bestimmung der fettfreien Masse (FFM) schlanker Frauen aus der 24-Std.-Creatininausscheidung. Die fettfreie Masse (FFM) wurde aus Calipermessungen (siehe Abschnitt 3.1) ermittelt

$$\text{FFM} = 18,2 \cdot \text{Creatinin (g/24-Std.)} + 21$$

mit $r = 0,652$; $n = 9$; $\text{S.D.}_{xy} = \pm 2,3 \text{ kg.}$

3.3 Anthropometrische Messungen an schlanken Personen

3.3.1 Theoretisches Modell

Nach Behnke (2) steht das Körpergewicht bei nicht wesentlich Übergewichtigen in einer festen Beziehung mit der Summe bestimmter Körperumfänge sowie der Körpergröße und errechnet sich aus der Formel:

$$G_{\text{Frauen}} = 2,34 \cdot s^2 h \qquad G_{\text{Männer}} = 2,30 \cdot s^2 h$$

(vgl. Auch Abschnitt 2.4.4). An je 10 schlanken Männern und Frauen wurde diese Beziehung überprüft (Tab. 10 + 11). Das errechnete Körpergewicht stimmte mit einer Abweichung von $\pm 2 \text{ kg}$ mit dem tatsächlichen Körpergewicht überein.

Davon ausgehend versuchten wir, den Anteil fettfreier Körpermasse ebenfalls aus der Körpergröße und verschiedenen Umfangssummen zu bestimmen. Hierzu war es notwendig, die theoretische Grundlage der empirischen Behnke-Formel aufzuklären.

Wir gingen bei der Berechnung des Körpergewichts aus mehreren Umfängen von der allgemeinen Formel (vgl. S. 11 + 12)

$$G = a \cdot s^2 h + b$$

Tab. 10: Ermittlung des Körpergewichts nach Behnke (2) (siehe Abschnitt 2.4.4)
an 10 männlichen, schlanken Versuchspersonen im Alter von 20 bis 38
Jahren

Größe (cm)	Gewicht gewogen	Umfangs- summe (cm)	Gewicht aus Umfängen (kg)	Broca- Index	Massen- Index	Metropolitan- Index
174	67,5	410	67,3	0,93	22,3	1,01
179	73,0	425	74,4	0,92	22,8	1,04
177	63,5	396	63,8	0,82	20,3	0,92
185	68,0	400	68,0	0,80	19,9	0,90
185	71,0	403	69,0	0,84	20,7	0,94
176	63,0	395	63,1	0,83	20,3	0,93
187	80,0	433	80,6	0,92	22,9	0,96
173	63,0	399	63,3	0,86	21,0	0,95
176	64,5	401	65,1	0,85	20,8	1,05
175	62,0	389	61,0	0,83	20,2	0,92

Tab. 11: Ermittlung des Körpergewichts nach Behnke (2) (siehe Abschnitt 2.4.4)
an 10 weiblichen, schlanken Versuchspersonen im Alter von 19 bis 42
Jahren

Größe (cm)	Gewicht gewogen	Umfangs- summe (cm)	Gewicht aus Umfängen (kg)	Broca- Index	Massen- Index	Metropolitan- Index
165	52,0	369	52,6	0,80	19,1	0,94
166	60,0	393	60,0	0,91	21,8	1,01
161	50,5	366	50,5	0,83	19,5	0,94
165	56,0	379	55,5	0,96	20,6	1,01
158	53,0	385	54,6	0,91	21,2	1,02
162	52,0	369	51,6	0,84	19,8	0,96
176	61,0	384	60,7	0,80	19,7	0,95
170	55,0	375	55,9	0,79	19,0	0,92
160	55,0	380	54,0	0,90	21,5	1,04
166	56,0	380	56,0	0,85	20,3	1,00

aus, wobei a und b konstante Zahlen, s die Summe der Körperumfänge und h die Körpergröße ist. Stellt man sich nämlich in vereinfachter Form den menschlichen Körper als Zylinder vor, so errechnet sich seine Masse aus der Höhe h, dem Umfang U und der Dichte D aus der allgemeinen Formel für einen Zylinder:

$$\text{Masse} = D/4\pi \cdot U^2 h,$$

wobei Masse gleich Körpergewicht ist.

Hierbei fällt die Ähnlichkeit mit der Gewichtsformel nach Behnke (2) auf. In beiden Fällen ist b gleich 0. Die Umfangssumme s addiert sich bei Behnke aus mehreren Einzelumfängen.

3.3.2 Entwicklung eines anthropometrischen Modells zur Bestimmung der fettfreien Masse (FFM)

Nach Brozek (12) beträgt die Dichte des Fettgewebes 0,9 und die des Knochen- und Muskelgewebes 1,1 g/cm³. Wir unterteilten deshalb unseren Modellzylinder in einen fettfreien Innenzylinder mit der Höhe H, dem Umfang U₁ und der Dichte D₁ (1,1 g/cm³) und einen Zylindermantel aus Fett mit der Höhe H, dem Außenumfang U₂ und der Dichte D₂ (0,9 g/cm³).

Demnach errechnet sich die fettfreie Körpermasse (Innenzylinder):

$$\text{FFM} = 1,1/4\pi \cdot U_1^2 H$$

und die Fettmasse aus der Differenz der Körpermasse und der fettfreien Masse:

$$\text{Fettmasse} = \text{Körpergewicht} - \text{FFM}$$

Von der Annahme ausgehend, daß sich zwischen dem theoretischen Zylinderumfang U_1 und der gemessenen Umfangssumme S_1 eine lineare Beziehung herstellen läßt ($y = ax + b$), kann man die Formel $1,1/4\pi \cdot U_1^2 H$ folgendermaßen umformen:

$$\text{FFM} = a(s^2 h) + b.$$

Hierbei durften wiederum nur die Umfänge gemessen werden, die in ihrer Summe S_1 proportional zum theoretischen Umfang des Innenzylinders U_1 waren. Die zu vermessenden Körperstellen sollten keinen Fettansatz aufweisen und im wesentlichen von Muskulatur und Skelett geprägt werden. Nach unseren Beobachtungen eigneten sich hierfür bei schlanken Personen folgende Körperstellen:

Unterarme: Maximalumfang ca. 5 cm distal vom Ellenbogen (gestreckt), Minimalumfang am Handgelenk

Unterschenkel: Maximalumfang der Wade, Minimalumfang oberhalb der Fußknöchel

Brustumfang: Xyphoidende (Atemmittellage, Arme hängend).

Die Versuchspersonen sollten aufrecht stehen. Beim Messen der Umfänge war darauf zu achten, daß das Maßband straff gehalten wurde. Die Umfänge der Unterarme und Unterschenkel wurden jeweils rechts und links gemessen und addiert.

3.3.3 Bestimmung der fettfreien Masse (FFM) und der Fettmasse

Für die Gleichung

$$\text{FFM} = a (s^2h) + b \quad (\text{siehe Abschnitt 3.3.2})$$

war es notwendig, die beiden Konstanten a und b experimentell zu ermitteln. Dazu mußte die fettfreie Masse (FFM) auf unabhängige Weise bestimmt werden. Wir entschieden uns für die Calipermessungen nach Durnin und Wommersley (15) zur Bestimmung der Fettmasse. In den Tabellen 4 und 5 (siehe S. 18-19) sind die Einzelwerte der Messungen mit Caliper, Waage und Maßband wiedergegeben. Die Fettmasse wurde aus Tab. 1 (S. 8) ermittelt. Die Differenz von gewogenem Körpergewicht und der Fettmasse ergab die fettfreie Masse (FFM)

$$\text{FFM} = \text{Körpermasse} - \text{Fettmasse}.$$

Trug man die fettfreie Masse (FFM) gegen die Umfangssumme S ins Koordinatensystem ein, ergaben sich daraus die Regressionsgleichungen für:

$$\text{Frauen (Abb. 2)} \quad \text{FFM} = 3s^2h + 9 \quad (n = 15, r = 0,923, p < 0,001)$$

$$\text{Männer (Abb. 3)} \quad \text{FFM} = 3s^2h + 13 \quad (n = 15, r = 0,788, p < 0,001)$$

wobei h = Größe (cm) und s die Umfangssumme der Extremitäten und der Brust ist (siehe S. 31).

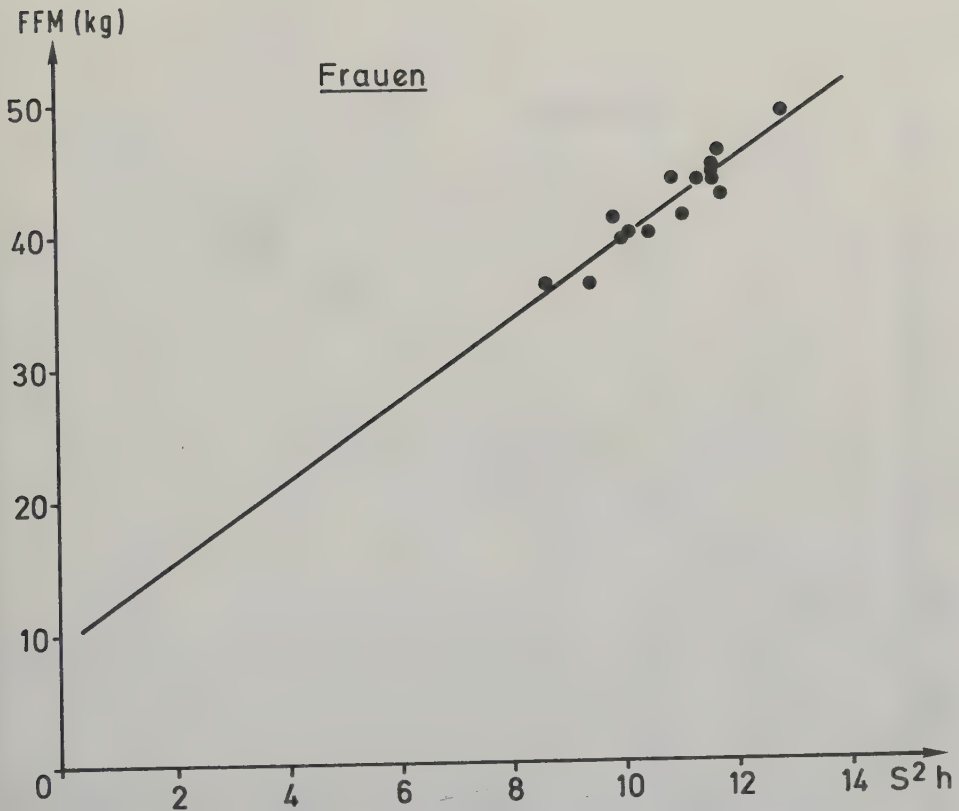


Abb. 2: Bestimmung der fettfreien Masse (FFM) schlanker Frauen aus der Körpergröße (h) und der Umfangsumme (s) (vgl. Abschnitt 2.4.4). Die fettfreie Masse (FFM) wurde aus Calipermessungen (siehe Abschnitt 3.1) ermittelt

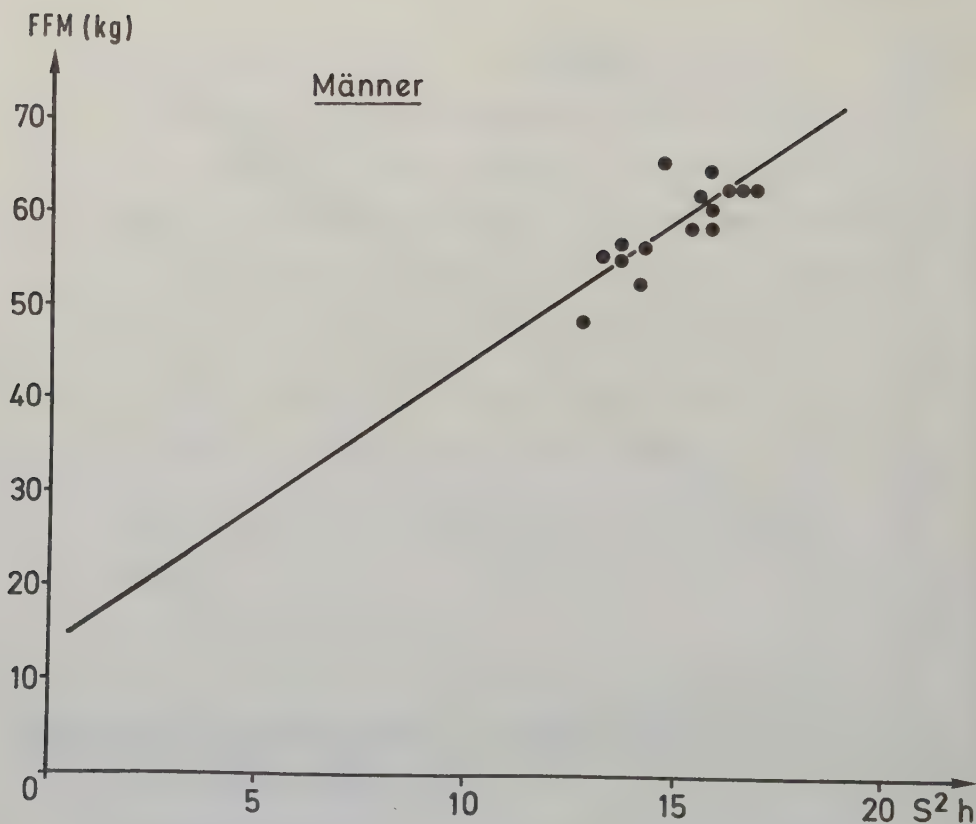


Abb. 3: Bestimmung der fettfreien Masse (FFM) schlanker Männer aus der Körpergröße (h) und der Umfangssumme (s) (siehe Abschnitt 2.4.4). Die fettfreie Masse (FFM) wurde aus Calipermessungen (siehe Abschnitt 3.1) ermittelt

Tab. 12: Bestimmung der fettfreien Masse (FFM) aus Umfängen (siehe Abschnitt 3.3.3) durch zwei unabhängige Untersucher (a und b) und der Fettmasse aus:
Fettmasse = Körpergewicht - FFM

Geschlecht (m/w)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Umfänge (m)	FFM (kg)	Fettmasse (kg)
m	171	65	a 2,84	54	11
			b 2,84	54	11
m	177	73	a 3,06	63	10
			b 3,10	64	9
m	173	74	a 3,03	61	13
			b 2,97	59	15
w	165	52	a 2,53	41	11
			b 2,56	41	11
w	170	54	a 2,59	43	11
			b 2,62	44	10
w	162	53	a 2,57	41	12
			b 2,61	42	11
w	166	58	a 2,70	45	13
			b 2,65	44	14
w	172	60	a 2,54	42	18
			b 2,52	42	18

Zwei unabhängige Untersucher überprüften die Reproduzierbarkeit der Umfangsmessungen und die sich daraus errechnende fettfreie Masse (FFM). Die Unterschiede betrugen dabei maximal ± 5 cm bzw. ± 1 kg.

3.3.4 Richtwerte für Körperumfänge

In Tab. 13 sind Richtwerte für die genannten Körperumfänge angegeben. Sie sollen es ermöglichen, die fettfreie Masse überschlägig abzuschätzen. Trainierte Personen besaßen an den von uns ausgewählten Meßstellen eher hohe, untrainierte Personen eher tiefe Umfangswerte. Somit sprechen hohe Werte für "schweren", tiefe für "leichten" Körperbau.

Es erwies sich als sinnvoll, die Umfänge auf die Körpergröße zu beziehen, da große Personen höhere Umfangswerte aufwiesen als kleine. Wir addierten jeweils die Umfänge der rechten und linken Extremität und dividierten das Ergebnis durch die Körpergröße. Den Richtwert für den Brustkorb ermittelten wir, indem wir den Brustumfang durch die Körpergröße dividierten. Aus den Werten von 15 schlanken Frauen und Männern bildeten wir Quotienten-Richtwerte für die verschiedenen Körperumfänge bei mittlerem Körperbau.

3.3.5 Berechnung des Idealgewichts aus der fettfreien Masse (FFM)

Aus der FFM läßt sich unter Annahme einer "idealen Fettmasse" das Idealgewicht errechnen. Die Calipermessungen nach Durnin und Womersley (15) ergaben für schlanke Frauen eine Fettmasse von 19 bis 28 % und für schlanke Männer

Tab. 13: Quotienten-Richtwerte für verschiedene Körperrumfange bei schlanken Personen mit mittlerem Körperbau. Die angegebenen Zahlenwerte stellen Quotienten aus Umfangssummen und Körpergrößen dar (siehe Tab. 10 + 11 S.

	Männer	Frauen
<u>Unterarm</u>		
Maximalumfang	0,29 - 0,31	0,27 - 0,30
Minimalumfang	0,18 - 0,20	0,17 - 0,19
<u>Unterschenkel</u>		
Maximalumfang	0,38 - 0,44	0,38 - 0,44
Minimalumfang	0,24 - 0,27	0,24 - 0,27
Brustkorb	0,44 - 0,47	0,46 - 0,50

von 12 bis 21 % (siehe Abschnitt 3.1). Dividiert man nun die aus

$$FFM_{\text{Frauen}} = 3s^2h + 9 \quad \text{und}$$

$$FFM_{\text{Männer}} = 3s^2h + 13$$

anthropometrisch erhaltene fettfreie Masse (s. S. 32) der Frauen durch 0,81 bzw. 0,72 und diejenige der Männer durch 0,88 bzw. 0,79, so erhält man anthropometrische Gleichungen für die Bestimmung von unteren und oberen Grenzgewichten (Idealgewichtsbereich). Diese sollten von schlanken Personen weder über- noch unterschritten werden. Bei Frauen beträgt die

$$\text{Obergrenze} = 4,17 s^2h + 12,5$$

$$\text{Untergrenze} = 3,70 s^2h + 11,1$$

und bei Männern

$$\text{Obergrenze} = 3,80 s^2h + 16,5$$

$$\text{Untergrenze} = 3,41 s^2h + 14,8.$$

Aus dem Mittelwert der jeweiligen Gleichung errechnet sich ein mittleres Idealgewicht für

$$\text{Männer: } 3,6 s^2h + 15 \text{ und für}$$

$$\text{Frauen: } 3,9 s^2h + 12.$$

3.4 Fettzellmessungen an schlanken Personen

3.4.1 Messungen in der Abdominalregion

Aus der Abdominalregion bestimmten wir Fettzellgröße, -zahl und -gewicht bei 8 schlanken Männern und 11 schlanken Frauen.

Bei den Männern ergab sich ein mittlerer Zelldurchmesser von $60,3 \pm 15,6 \mu\text{m}$ und bei den Frauen von $79,8 \pm 8,7 \mu\text{m}$ (Tab. 15 + 16). Bei der Berechnung des mittleren Zelldurchmessers, des mittleren Zellvolumens und des Zellgewichts gehen die meisten Autoren von einer Gaußschen Normalverteilung aus (10, 42). Eine derartige Verteilung fanden wir jedoch nur bei den schlanken Männern. Bei den schlanken Frauen und den Adipösen (siehe Abschnitt 3.5) erhielten wir häufig schiefe oder mehrgipflige Verteilungskurven. Dies galt besonders im Grenzbereich zwischen schlank und adipös. Die einfache Mittelwertbildung läßt eine schiefe oder

Tab. 15: Fettzellgröße, -zahl und -verteilung nach dem Lipidgehalt in der Abdominal-region bei schlanken Männern im Alter von 20 bis 38 Jahren

Größe (cm)	Gewicht (kg)	Zelldurch- messer (μg)	Verteilung nach Lipidgehalt (%)			Regionaler Zellindex
			< 0,5 μg	0,5-0,7 μg	> 0,7 μg	
178	63	85,5	95	5	-	168
182	73	60,1	100	-	-	104
171	63	40,1	100	-	-	170
184	73	64,5	99	1	-	264
177	72	48,8	100	-	-	102
180	71	46,6	100	-	-	140
176	63	58,6	99	1	-	146
184	73	78,4	98	2	-	178
$\bar{x}$ 179	69	60,3				159

Tab. 16: Fettzellgröße, -zahl und -verteilung nach dem Lipidgehalt in der Abdominal-region bei schlanken Frauen im Alter von 20 bis 45 Jahren

Größe (cm)	Gewicht (kg)	Zelldurch- messer (µm)	Verteilung nach Lipidgehalt (%)		Regionaler Zellindex
			< 0,5 µg	0,5-0,7 µg	> 0,7 µg
172	62	77,3	92	4	4
170	52	84,0	88	9	3
171	52	86,7	83	14	3
170	61	86,9	86	13	1
165	53	86,9	76	18	6
171	57	67,4	100	-	-
170	60	80,6	85	10	5
168	59	80,6	100	-	-
172	61	61,0	88	9	3
162	53	78,6	100	-	-
164	52	88,2	76	18	6
$\bar{x}$ 169	57	79,8			
					172

mehrgipflige Verteilungskurve nicht mehr erkennen. Um die Zellverteilung besser beurteilen zu können, teilten wir die Zellen in Gewichtsgruppen ein.

Die in Abschnitt 2.4.5 (s.S. 15) hergeleitete Gleichung zur Berechnung des Fettzellgewichts:

$$\text{Gewicht } (\mu\text{g}) = 0,91 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\mu\text{m}^3) \cdot \pi/6 \cdot d^3 (\mu\text{m}^3)$$

vereinfachten wir nach Zusammenfassung der Konstanten in:

$$\text{Gewicht } (\mu\text{g}) = 0,479 \cdot 10^{-6} \cdot d^3 (\mu\text{g}) \text{ oder aufgerundet:}$$

$$\text{Gewicht } (\mu\text{g}) = 500 \cdot 10^{-3} \cdot d^3 (\mu\text{g})$$

und errechneten aus dem Fettzelldurchmesser das Fettzellgewicht. In Übereinstimmung mit Literaturangaben (7, 41, 44) teilten wir die Zellen nach ihrem Lipidgehalt in drei Gruppen ein ($< 0,5 \mu\text{g}$, $0,5-0,7 \mu\text{g}$ und $> 0,7 \mu\text{g}$) (Tab. 17).

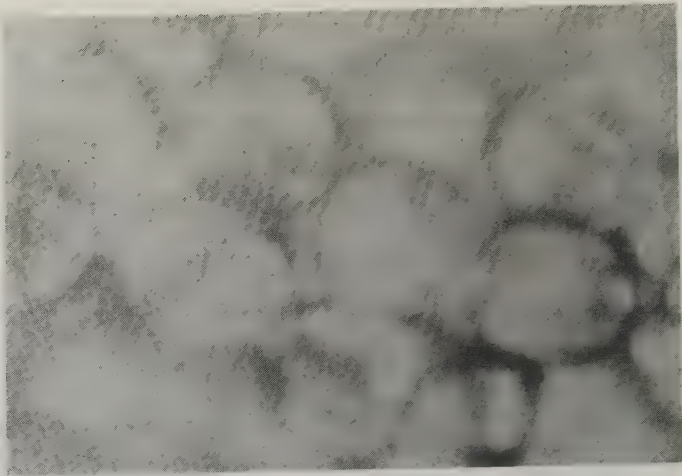
Tab. 17: Richtwerte zur Fettzellbeurteilung

Klassifizierung	Lipidgehalt (μg)	Durchmesser	
		(μm)	(Skalenteile)
kleine Zellen	0,02 - 0,5	35-102	10-29
grenzwertige Zellen	0,5 - 0,7	102-112	30-32
große Zellen	über 0,7	über 112	über 32

Diese Richtwerte beruhen auf eigenen Erfahrungen und den Angaben der bereits genannten Autoren. Salans et al. (41) fanden für schlanke Personen in der Abdominalregion ebenfalls einen Mittelwert von $0,45 \mu\text{g}$ Fett pro Zelle und Krotkiewski et al. (31) $0,31 \mu\text{g}$ pro Zelle.

a)

60 μm



b)

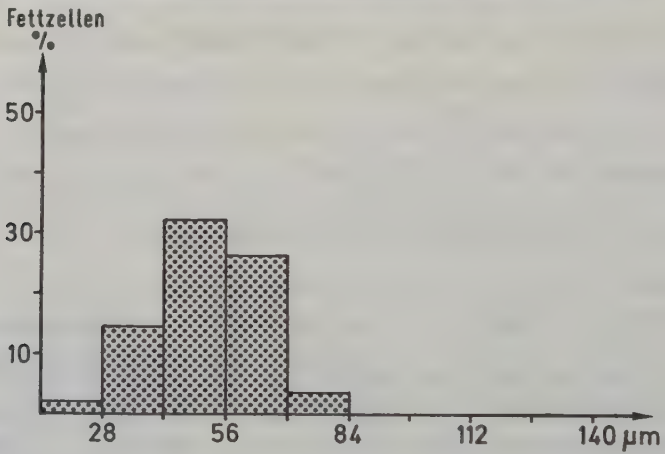
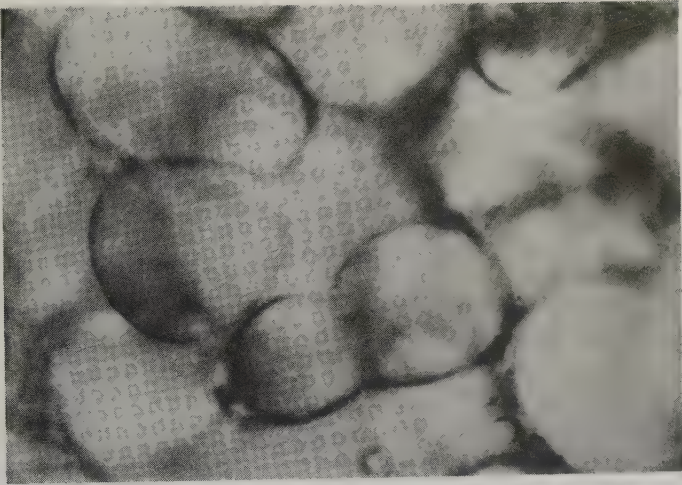


Abb. 4: Fettzellen in 320-facher Vergrößerung (a) und Fettzellmuster (b) eines schlanken Mannes (27 Jahre, 177 cm, 70,5 kg). Der mittlere Fettzelldurchmesser beträgt $54 \pm 10 \mu\text{m}$

a)

60 μm



b)

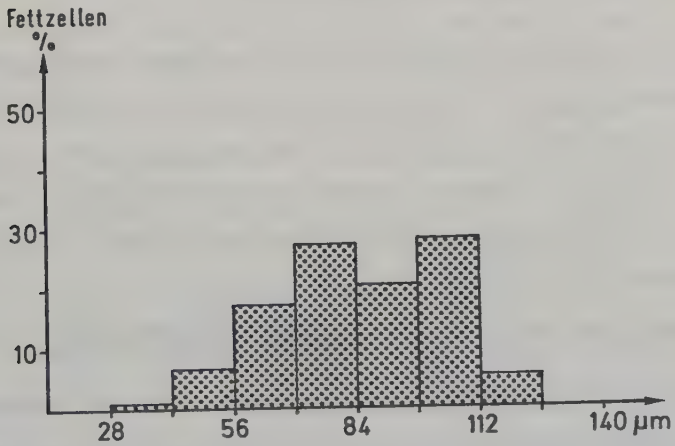


Abb. 5: Fettzellen in 320-facher Vergrößerung (a) und Fettzellmuster (b) einer schlanken Frau (24 Jahre, 170 cm, 60 kg). Der mittlere Fettzelldurchmesser beträgt $80,6 \pm 15,1 \mu\text{m}$

Tab. 15 zeigt, daß bei den 8 schlanken Männern mindestens 95 % der Zellen $\leq 0,5 \mu\text{g}$ Lipid enthalten, während es bei den 11 schlanken Frauen ca. 75 % der Zellen $\leq 0,5 \mu\text{g}$ sind. 8 schlanke Frauen hatten Zellen mit einem Lipidgehalt von mehr als $0,7 \mu\text{g}$. Das Fettzellmuster eines schlanken Mannes zeigt Abb. 4, das einer schlanken Frau Abb. 5. Dabei fällt die zweigipflige Verteilungskurve der Frau auf, die allerdings nicht regelmäßig bei schlanken Frauen zu beobachten ist.

3.4.2 Regionaler Fettzellindex

Der regionale Fettzellindex soll aussagen, wieviele Fettzellen mittlerer Größe theoretisch an der Meßstelle übereinanderstehend untergebracht werden können. Somit errechnet sich der regionale Fettzellindex als Quotient aus der Schichtdicke an der Meßstelle und dem mittleren Zelldurchmesser an der Meßstelle:

$$\text{Regionaler Fettzellindex} = \frac{\text{Calipermessung (mm)} \cdot 1000}{\text{mittlerer Zelldurchmesser } (\mu\text{m})}$$

Zur Bestimmung der Schichtdicke verwendeten wir wieder die Calipermessung nach Durnin und Womersley (15), da diese in Beziehung zur Fettmasse steht (siehe Abschnitt 3.1). Der auf diese Weise aus regionaler Fettgewebsdicke und regionalem Fettzelldurchmesser bestimmte mittlere, regionale Fettzellindex beträgt bei schlanken Frauen und Männern

etwa 100 bis 300 (Tab. 15 + 16) in der Abdominalregion. Der mittlere Fettzelldurchmesser wurde aus der Fettgewebsbiopsie durch mikroskopische Vermessung (siehe Abschnitt 3.4.1) bestimmt. Die Fettfalte sollte an der gleichen Stelle gemessen werden, an der auch die anschließende Fettzellbiopsie entnommen wurde.

3.4.3 Messungen in anderen Körperregionen

Tab. 18 zeigt, daß bei schlanken Personen die Fettzellen der Abdominalregion kleiner als die der Femoral-, Glutäal- und Omentalregion sind. Vornehmlich die abdominellen Zellen scheinen bei Adipösen an Größe zuzunehmen.

Zellen im Zentrum der Gewebsprobe zeigten meistens eine gleichmäßige Größenverteilung, während die Zellen der Peripherie in der Regel kleiner und möglicherweise geschädigt waren. Für die Beurteilung der Fettzellgröße wurden daher die zentral gelegenen Zellen herangezogen.

Tab. 18: Mittlerer Fettzelldurchmesser (μm) im zentralen Teil und in Randbezirken der Fettgewebsproben (Autopsiematerial von zwei schlanken und zwei adipösen Patientinnen (n = 50 bis 100 in jeder Probe)

Fettgewebe	Zentrum	Rand
abdominal	53	46
femoral	112	102
omental	60	60
abdominal	61	55
femoral	99	84
glutäal	100	91
abdominal	112	88
femoral	121	67
omental	129	102
abdominal	119	101
femoral	120	98
glutäal	111	91

3.5 Messungen an adipösen Personen

Die Fettmassenbestimmung aus Calipermessungen nach Durnin und Womersley (15) bei 10 adipösen Personen gibt Tab. 19 wieder. Die Calipersumme liegt im Bereich von 68 bis 146 mm. Dies entspricht einer Fettmasse von 21 bis 53 kg (23 bis 44 %).

Von 10 weiteren Personen bestimmten wir Größe, Gewicht, Fettzelldurchmesser und Fettzellgewicht (Tab. 20). 7 Personen unterzogen sich während eines stationären Aufent-

Tab. 19: Fettmassenbestimmung aus Calipermessungen nach Durnin und Womersley (15)
bei adipösen Personen im Alter von 24 bis 49 Jahren

Geschlecht (m/w)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Metropolitan- Index	Massen- Index	Broca- Index	Caliper- summe (mm)	Fettmasse (kg)	Fettmasse (%)
m	190	92	1,2	25,5	1,02	68	21	23
m	173	76	1,2	25,4	1,04	81	22	29
m	182	80	1,1	24,1	0,98	83	23	29
m	176	84	1,2	27,1	1,10	86	25	30
m	186	87	1,1	25,1	1,01	83	30	84
m	170	95	1,5	32,9	1,35	110	31	33
w	168	80	1,04	28,3	1,18	103	34	43
w	167	80	1,4	28,7	1,19	115	35	44
m	182	135	1,8	40,8	1,65	144	49	36
w	168	120	2,1	42,5	1,76	146	53	44

Tab. 20: Die Fettzellgröße und die Verteilung der Fettzellen nach dem Lipidgehalt bei adipösen Patienten vor (a) und nach (b) Gewichtsreduktion. Drei Patienten unterzogen sich keiner Diät.

Geschlecht (m/w)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	mittlerer Zelldurch- messer (μ m)	S.D.	Verteilung nach dem Lipid- gehalt (%)		
					< 0,5 μ g	0,5-0,7 μ g	> 0,7 μ g
w	156	a 73	100	17,1	55	25	20
		b 65	88	16,8	91	8	1
w	160	a 87	114	18,9	27	26	47
		b 79	106	31,5	30	21	49
m	175	a 102	107	18,5	47	25	28
		b 94	104	19,6	45	25	30
m	188	a 104	90	20,0	82	15	3
		b 98	96	16,9	60	27	13
w	175	a 118	109	18,4	32	22	46
		b 109	105	17,9	20	27	53
m	180	a 119	117	19,6	20	20	60
		b 109	102	16,1	52	23	25
m	181	a 133	123	21,0	15	17	68
		b 123	108	19,7	31	26	43
m	173	a 76	90	16,5	84	16	10
m	190	a 92	92	15,1	68	26	6
w	160	a 60	100	21,4	44	29	27

halts einer Reduktionsdiät. Während dieser Zeit nahmen sie 6 bis 10 kg ab. Die erste Messung erfolgte am Beginn (a), die zweite (b) am Ende der Diät. Es ist offensichtlich, daß bei stark Adipösen (10, 22, 25, 42) das Fettzellmuster in Richtung Zellvergrößerung verschoben ist (Abb. 6). So sind weniger als 50 % der Zellen unter 0,5 μg schwer, der Rest verteilt sich fast gleichmäßig auf die beiden Gruppen 0,5-0,7 μg und > 0,7 μg . Charakteristisch sind auch Riesenzellen mit Durchmessern von mehr als 140 μg (1,30 μg). Da das Volumen der Zelle mit der dritten Potenz des Durchmessers steigt (43), entspricht diese Steigerung der Fettzellgröße auf mehr als das Doppelte einer Zunahme der pro Zelle gespeicherten Fettmasse auf das mehr als 8-fache. Unter der Reduktionsdiät (b) konnte man eindeutige Verschiebungen in die Gruppe bis 0,5 μg erst erkennen, wenn sich das Körpergewicht zu normalisieren begann. Besteht am Ende einer Reduktionsdiät jedoch immer noch eine ausgeprägte Adipositas (3, 4, 5, 6, 10), so ist diese Verschiebung nicht festzustellen.

3.6 Messungen an Kindern

An 7 schlanken und 3 adipösen Mädchen sowie 3 schlanken und einem adipösen Jungen führten wir nach der im Abschnitt 2.4.2 angegebenen Methode Calipermessungen nach Durnin und Womersley (15) durch. Um daraus die Fettmasse

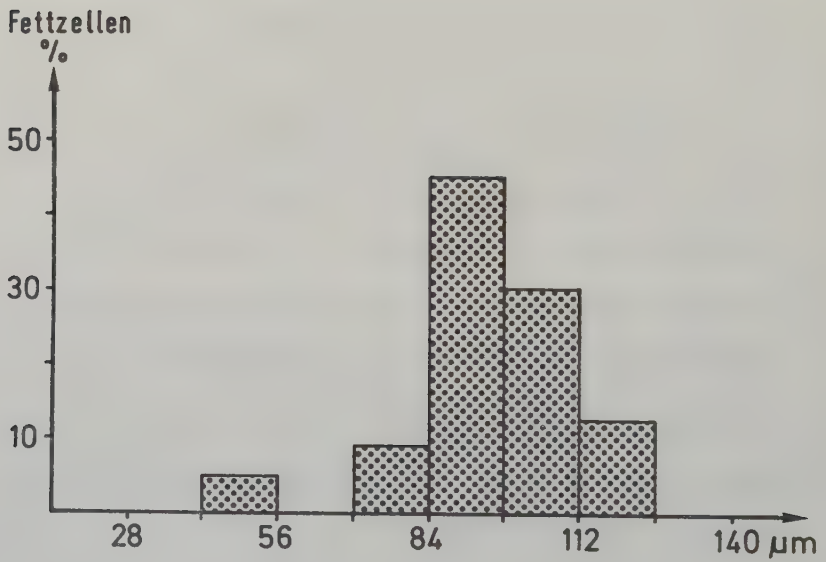


Abb. 6: Fettzellmuster eines adipösen Mannes (41 Jahre, 188 cm, 98 kg). Der mittlere Fettzellendurchmesser beträgt $96,2 \pm 16,9 \mu\text{m}$

bestimmen zu können, war es notwendig, die von Durnin und Womersley (15) für Erwachsene erarbeitete Tabelle (Tab. 1) zu erweitern. Die nach Alter und Geschlecht geordneten Calipersummen wurden zu diesem Zweck so extrapoliert, daß die Gruppe der 10- bis 15jährigen Jungen und Mädchen erfaßt werden konnte.

Es wurden ebenfalls bei allen Kindern Fettzellbiopsien durchgeführt, das Körpergewicht bestimmt, die Körpergröße gemessen sowie Umfangsmessungen durchgeführt. Die Einteilung in Ideal- oder Übergewichtige erfolgte nach den Richtwerten von Reinken et al. (39).

Die aus den Werten von Durnin und Womersley (15) extrapolierten Werte zur Bestimmung der Fettmasse (%) bei Kindern gibt Tab. 21 wieder.

Bei den Normalgewichtigen liegen die Calipersummen (Tab. 22) der Triceps-, Suprailiacal- und Subscapularfalten alle innerhalb der Normwerte von Reinken et al. (Tab. 23).

Die Fettmasse betrug bei den schlanken Mädchen zwischen 6 und 12 kg und bei den schlanken Jungen 5 bis 6 kg (Tab. 22). Die adipösen Mädchen hatten im Mittel 15 kg Fett, der leicht adipöse Junge 10 kg Fett.

Fettzellgewicht, -größe und -index der schlanken Jungen und Mädchen gehen aus Tab. 22 hervor, der der adipösen Kinder aus Tab. 22. Dabei ist auffällig, daß sowohl bei den schlanken Mädchen als auch bei den schlanken Jungen mindestens 92 % der Zellen kleiner als $0,5 \mu\text{g}$ sind. Die

restlichen 8 % liegen alle in der zweiten Gruppe (0,5-0,7 μ g). Der Fettzellindex liegt zwischen 82 und 160 in der Abdominalregion (siehe Abschnitt 3.4.2). Bei den adipösen Kindern beträgt er 144 bis 238. Bei ihnen fallen 22 bis 44 % der Fettzellen in die 2. und 3. Gewichtsgruppe.

Tab. 21: Extrapolierte Hautfaltensumme (mm) für Kinder aus den Werten von Durnin und Womersley (15

Falten- summe	% Fettmasse			
	Jungen		Mädchen	
	10 Jahre	15 Jahre	10 Jahre	15 Jahre
20	5	7	11	12
30	11	12	16	17
40	14	15	20	21
50	16	18	23	24
60	18	19	27	28
70	21	22	28	29
80	23	24	31	32
90	24	25	33	34
100	26	27	35	36

Tab. 22: Messungen an 10- bis 14jährigen schlanken und adipösen Kindern. Bestimmung der Fettzellgröße (siehe Abschnitt 3.4.1), des Fettzell-Lipidgehalts (siehe Abschnitt 3.4.1), des regionalen Fettzellindex (siehe Abschnitt 3.4.2) und der Fettmasse aus Calipermessungen (A) der Triceps-, Biceps-, Suprailiacal- und Subscapularregion (siehe Abschnitt 2.4.2). Zusätzlich wurde die Hautfaltensumme (B) der Triceps-, Suprailiacal- und Subscapular-Region bestimmt.

Geschlecht	Größe	Gewicht	Hautfaltensumme	Fettmasse	mittlerer Zell-	Verteilung nach dem	regionaler	
(m/w)	(cm)	(kg)	A (mm)	B (mm)	durchmesser	Lipidgehalt (%)	Fettzell-	
					(µm)	jeweils in µg	index	
					S.D.	< 0,5 0,5-0,7 > 0,7		
w	163	45	27	22	7 15 73,4	12,8 100	- -	82
w	148	36	32	27	6 17 76,2	16,4 92	8 -	112
w	147	35	35	29	6 18 68,8	12,7 98	2 -	87
w	166	53	47	39	12 22 72,0	13,7 100	- -	160
w	150	37	27	23	5 14 78,0	16,0 92	7 1	90
w	160	43	39	33	9 20 79,5	16,1 94	6 -	94
w	156	40	26	22	6 14 55,3	8,4 100	- -	90
m	160	48	31	26	6 12 63,1	12,3 100	- -	158
m	172	51	25	21	5 10 66,9	13,2 98	2 -	90
m	157	45	29	25	5 11 64,7	11,5 100	- -	124
w	172	60	60	50	15 25 92,7	21,0 59	33 8	238
w	166	60	58	49	15 25 90,0	14,0 78	18 4	144
w	165	59	63	52	15 25 95,6	14,2 56	38 6	162
m	156	52	68	60	10 20 94,6	18,8 68	22 10	190

Tab. 23: Richtwerte der Hautfaltensumme von Triceps-,
Suprailiacal- und Subscapularregion in mm nach
Reinken et al. (39)

Jahre	männlich	weiblich
2	16-27	17-27
4	16-26	17-28
6	16-27	17-33
8	14-29	17-39
10	16-36	19-46
12	17-43	20-45
14	17-50	20-48
16	17-28	21,57

3.7 Messungen an Skulpturen der Glyptothek München

Mit den vorliegenden anthropometrischen Methoden ist es auch möglich, statt lebender Personen "naturgetreue" Nachbildungen zu untersuchen und damit Körpergewicht, fettfreie Körpermasse und Fettmasse der Vorbilder nachträglich abzuschätzen.

Mit der freundlichen Genehmigung des Leiters der Glyptothek München war es uns möglich, griechische Skulpturen von 540 v.Chr. bis 350 v.Chr. zu vermessen. Das "wahrscheinliche" Körpergewicht der Vorbilder bestimmten wir mit den Umfangsmessungen nach Behnke (2), s.S. 11 + 12. Aus diesen und der Körpergröße ermittelten wir den Broca-Index (21) und den Massenindex (21), vgl. S. 6. Wie aus Tab. 24

hervorgeht, waren danach sowohl die Statue des griechischen Jünglings als auch die Achilleusstatue übergewichtig, während die Statue der Aphrodite idealgewichtig war. Die Fettmasse, die indirekt über die Bestimmung der "fettfreien Masse" (vgl. Abschnitt 3.3.3) ermittelt wurde, lag bei den beiden männlichen Statuen oberhalb, bei der Aphroditenstatue innerhalb der Richtwerte für schlanke Personen (s. S. 32). Um das nach unserer Methode (vgl. Abschnitt 3.3.5) errechnete "mittlere Idealgewicht" zu erreichen, hätte der griechische Jüngling 11 kg und Achilleus 12 kg abnehmen müssen, während Aphrodite sogar 3 kg hätte zunehmen dürfen, wie auch schon der Augenschein (Abb. 7) ergibt, entsprechend dem Schönheitsideal der damaligen Kunstperiode.

Tab. 24: Bestimmung des Körpergewichts nach Behnke (vgl. Abschnitt 2.4.4) und des von uns entwickelten "mittleren Idealgewichts" (siehe Abschnitt 3.3.5) sowie der "fettfreien Körpermasse und der Fettmasse" (vgl. Abschnitt 3.3.4) griechischer Skulpturen der Glyptothek München

Skulpturen	Größe (cm)	Broca- Index	Massen- Index	Umfangs- summe n. Behnke (cm)	Umfangs- summe eig. Me- thode (cm)	Körpergew. n. Behnke (kg)	mittleres Idealgew. (kg)	FFM (kg)	Fett (kg)	%
Griechischer Jüngling*	210	1,26	31,5	534	385	139	128	107	32	23
540 v.Chr.										
Achilleus	198	1,32	32,9	532	379	129	117	98	31	24
440 v.Chr.										
Aphrodite	170	0,91	22,1	400	289	64	67	52	12	19
350 v.Chr.										

* siehe Abb. 7



Abb. 7: Skulptur eines griechischen Jünglings aus Attika,
Frühgriechische Grabstatue 540/530 v.Chr.

4,0 DISKUSSION

Aus Abb. 8 wird deutlich, daß sowohl die modifizierte Broca-Formel (21) als auch die Metropolitan-Tabelle (48) nur innerhalb eines sehr engen Körpergrößenbereichs identische Idealgewichte liefern.

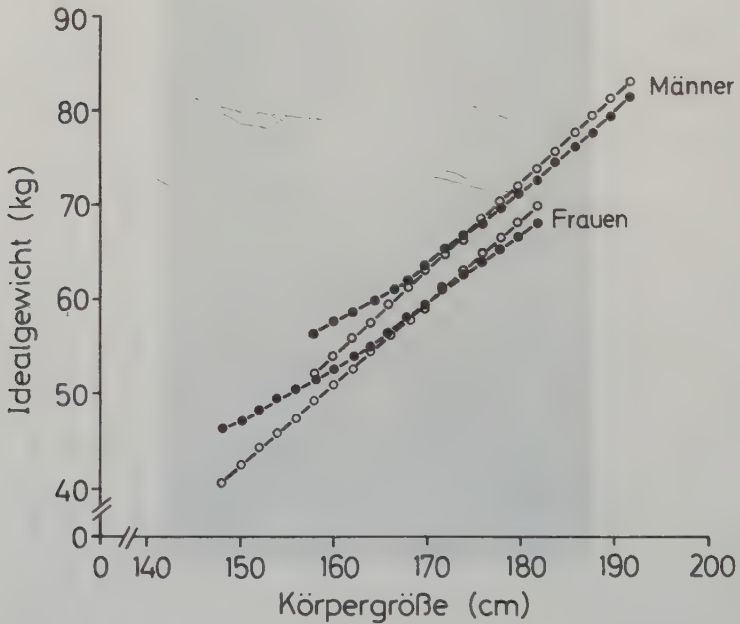


Abb. 8: Idealgewicht in Abhängigkeit von der Körpergröße bei Frauen und Männern

---. Metropolitan-Idealgewicht

o--o Broca-Idealgewicht: $0,9 \cdot (\text{Größe} - 100)$ Männer
 $0,85 \cdot (\text{Größe} - 100)$ Frauen

Dieser beträgt bei Männern etwa 170 bis 180 cm und bei Frauen etwa 165 bis 175 cm.

Kleinere Menschen erscheinen nach der modifizierten Broca-Formel (21), die von vielen Autoren als Idealgewichtsformel verwendet wird, adipöser als nach der Metropolitan-Tabelle (48). Bei großen Personen sind die Verhältnisse umgekehrt. Broca- und Metropolitanidealgewicht stimmen somit nur bei mittleren Körpergrößen exakt überein. Einen aus Literaturdaten (12, 19, 32, 38) zusammengestellten Vergleich zwischen dem Idealgewichtsindex (Gewicht/Idealgewicht) der Metropolitan-Life-Insurance-Company (siehe Abschnitt 2.4.1) und der mit physikalisch-chemischen Methoden ermittelten Fettmasse (s. Tab. 8 + 9) zeigen Abb. 9 und 10. Daraus geht hervor, daß die dem Metropolitan-Idealgewicht entsprechende mittlere Fettmasse bei einem Metropolitan-Index von 1 für Frauen 13,5 und für Männer 11,7 kg beträgt. Mayer (33, 34) setzt als Obergrenze für die "ideale Fettmasse" für Frauen 25 % und für Männer 20 % an. Bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von 60 kg für Frauen und 70 kg für Männer entspricht dies rund 15 kg Fett und somit der mittleren Fettmasse, die aus dem Metropolitan-Idealgewicht errechnet wird (Abb. 9 + 10).

2. Bei gleichem Metropolitanindex haben Frauen und Männer etwa gleich viel Fett.
3. Zwischen relativem Körpergewicht und der Fettmasse besteht ein gesicherter ($r = 0,856$ für Frauen und

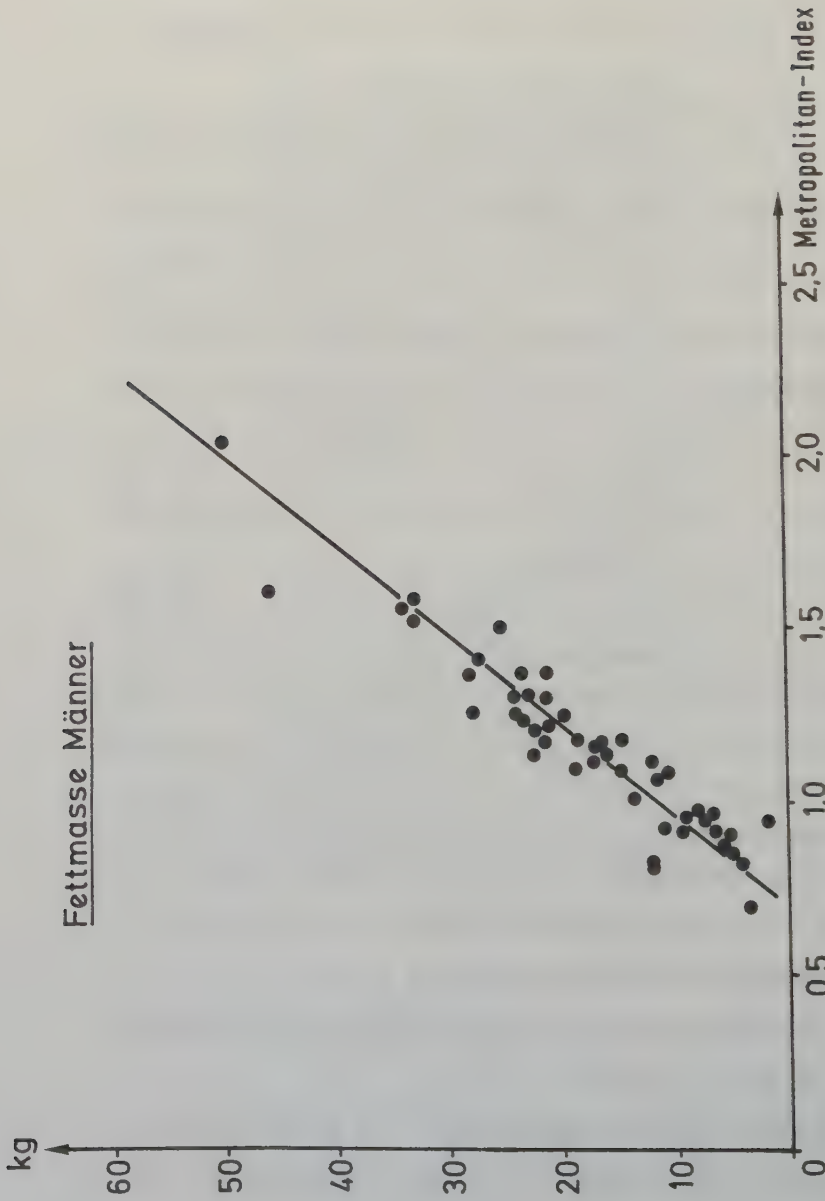
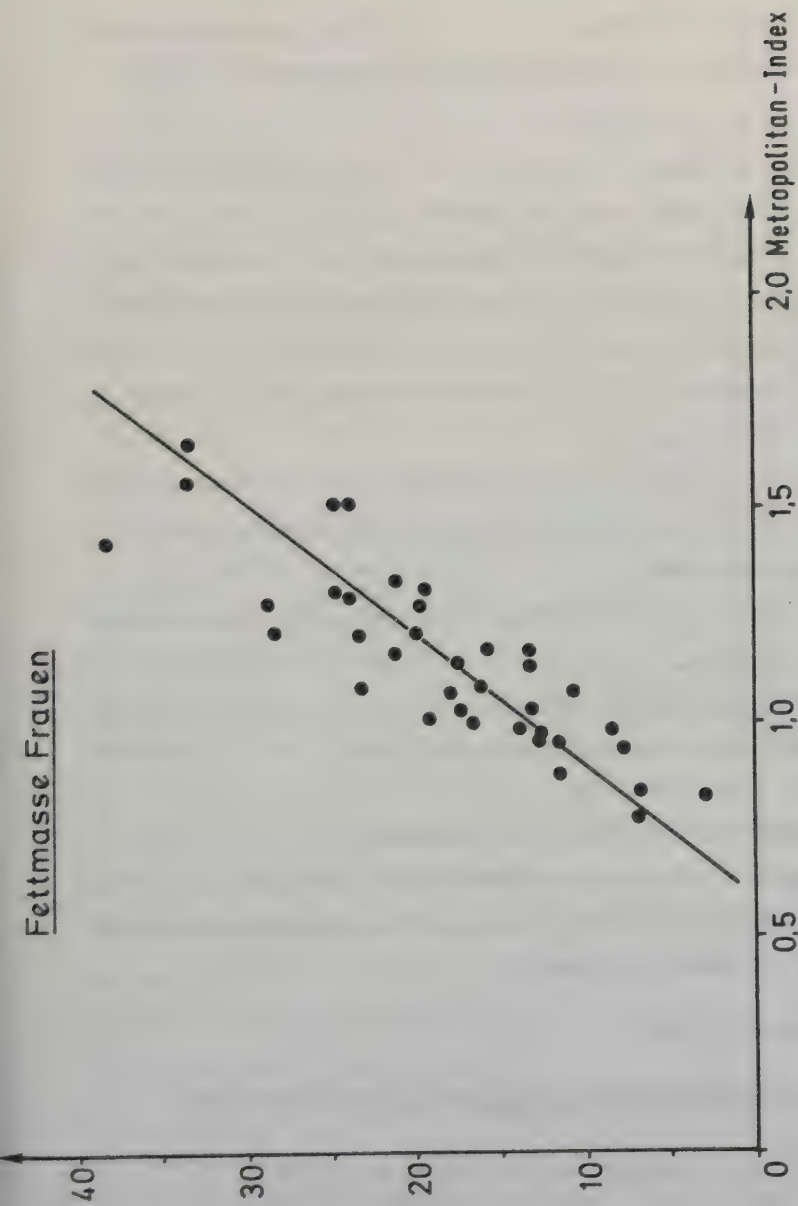


Abb. 9: Beziehung zwischen Fettmasse und Idealgewichtsindex der Metropolitan-Life-Insurance Company. Die Werte wurden aus Literaturdaten (12, 19, 32) übernommen.

Männer



$r = 0,939$ für Männer), wenn auch nicht sehr enger Zusammenhang (S.D. von der Regressionsgeraden = ± 2 kg).

In allen Indexberechnungen (21) wird das Körpergewicht jedoch nur in Bezug zur Körpergröße und nicht zur Fettmasse gesetzt. Es wird nicht berücksichtigt, ob eine Gewichtszunahme durch Zunahme der Muskelmasse oder der Fettmasse entsteht. Deshalb sollten die Körpergewicht-Körperlängen-Indexsysteme nur bei deutlicher Überschreitung der jeweiligen Normwerte als ein Maß für die Vermehrung der Fettmasse gelten (28).

Behnke et al. (2) und auch Bornhardt (8) berücksichtigen durch ihre Umfangsmessungen auch den Körperbau (Muskel- und Skelettmasse).

Während bei Behnke 8 Umfänge zur Körpergewichtsberechnung benötigt werden (siehe Abschnitt 2.4.4), errechnet sich das Idealgewicht nach Bornhardt (siehe S. 62 u. 63) allein aus Körpergröße und mittlerem Brustumfang.

Idealgewichtsberechnung nach Bornhardt

Danach errechnet sich das Idealgewicht nach Bornhardt aus dem Produkt von Körpergröße (cm) und mittlerer Brustumfang (cm) dividiert durch 240 (8):

Idealgewicht (kg) =

$$= \frac{\text{Körpergröße (cm)} \cdot \text{mittlerer Brustumfang (cm)}}{240}$$

Der mittlere Brustumfang ist definiert mit (8):

mittlerer Brustumfang =

$$= \frac{\text{Umax. Inspiration} + \text{Umax. Expiration}}{2}$$

Bei 15 schlanken Männern verglichen wir das Idealgewicht nach Bornhardt mit dem gewogenen Gewicht, dem Metropolitan-Idealgewicht und dem von uns ermittelten mittleren Idealgewicht (siehe Abschnitt 3.3.4) (Tab. 25). Die Idealgewichte nach Bornhardt lagen grundsätzlich tiefer als die der Metropolitan-Idealgewichtstabelle (48), doch lagen die Unterschiede in 6 Fällen unterhalb von 5 kg. Besonders ausgeprägte Diskrepanzen von mehr als 10 kg sind in Tab. 25 hervorgehoben. Das von uns errechnete mittlere Idealgewicht lag in 11 Fällen um weniger als 5 kg über dem Idealgewicht nach Bornhardt (8). In 2 Fällen betrug die Differenz jedoch ebenfalls mehr als 10 kg.

Unsere Untersuchungen zeigen, daß das Idealgewicht nach Bornhardt (8) bei großen Versuchspersonen mit kleinem Brustumfang bis zu 11,5 kg unter dem Metropolitan-Idealgewicht und bis zu 9 kg unter dem von uns errechneten Idealgewicht lag. Daraus kann geschlossen werden, daß die alleinige Messung von Körpergröße und Brustumfang für die Beurteilung der fettfreien Masse (FFM) nicht ausreicht. Nach der Behnke-Formel konnten wir das Körpergewicht bis auf $\pm 2,0$ kg (± 2 %) bestimmen (Tab. 10 und 11).

Es ist somit sinnvoll, eine Gewichtsbestimmung aus mehreren Körperumfängen zu ermitteln. Zu einer genauen anthropometrischen Gewichtsbestimmung müssen jedoch folgende

Tab. 25: Vergleich zwischen dem Idealgewicht nach Bornhardt, dem gewogenen Gewicht, dem Metropolitan-Idealgewicht und dem mittleren Idealgewicht (siehe Abschnitt 3.3.5) bei 15 schlanken Männern im Alter von 21 bis 32 Jahren

Größe (cm)	Gewicht (kg)	Idealgewicht n. Bornhardt (kg)	Metropolitan- Idealgewicht (kg)	mittleres Idealgewicht (kg)
180	71	68	71	72
182	72	72	73	71
184	74	<u>64</u>	75	71
176	70	66	68	72
185	70	68	76	71
176	63	59	68	63
177	73	65	69	76
179	69	66	71	69
189	79	<u>67</u>	79	78
175	64	62	68	63
182	62	<u>59</u>	73	62
192	72	<u>70</u>	81	73
185	73	69	77	73
172	63	64	66	66
172	72	71	65	72

Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Die zu vermessenden Umfänge müssen in ihrer Summe S proportional zum theoretischen Zylinderumfang des menschlichen Körpers sein (siehe Abschnitt 3.3.2).
2. Der menschliche Körper muß die Dichte des Referenzkörpers (12) von $1,064 \text{ g/cm}^3$ aufweisen (siehe Abschnitt 3.3.1).

Bei einem stark adipösen ist diese zweite Voraussetzung nicht erfüllt. Bei z.B. 50 % Fettanteil (Fettgewebisdichte = $0,9 \text{ g/cm}^3$, Dichte des Knochen- und Muskelgewebes = $1,1 \text{ g/cm}^3$) beträgt seine mittlere Dichte = $1,0 \text{ g/cm}^3$. Das nach Behnke et al. (2) errechnete Körpergewicht würde um 6,4 % zu hoch ausfallen.

Bei den schlanken männlichen und weiblichen Versuchspersonen erhält man nach Behnke (2) relativ genaue Werte, da nur diese die beiden o.g. Bedingungen erfüllen. Die von uns in Abschnitt 3.3.3 erarbeitete Methode zur Bestimmung der fettfreien Masse (FFM) aus Umfangsmessungen von weitestgehend fettfreien Körperteilen ist bei schlanken Personen und auch bei nicht wesentlich übergewichtigen Personen anwendbar. Sie ist einfach und mit geringem Aufwand nur mit Hilfe eines Maßbandes und einer Waage durchzuführen.

Als Referenzmethode zur Bestimmung der Fettmasse (FM) entschieden wir uns für die Calipermessungen nach Durnin und Womersley (15) (siehe Abschnitt 3.1). Für Reihenuntersu-

chungen stellt die Hautfaltenmessung eine geeignete Methode dar. Sie ist einfach und schnell in 10 Minuten auszuführen und gibt dem geübten Untersucher sichere Hinweise über die Fettmasse der Versuchspersonen. Von 6 unabhängigen Untersuchern waren die Ergebnisse jederzeit reproduzierbar. Die Unterschiede betrugen dabei maximal 11 mm bzw. 4,0 kg (Tab. 3). Bei Hautfaltendicken oberhalb von 30 mm ergaben sich Ableseschwierigkeiten. Hier nahm innerhalb der Meßzeit die Faltendicke auf der Skala des Calipers langsam ab. Deshalb ist es notwendig, entsprechend der Empfehlung der Firma Holtain (15), den Meßwert sofort nach dem Schließen der Caliperbacken abzulesen. Da sich der Caliper nur bis 40 mm öffnen läßt, ist die Messung der Suprailiacalfalte bei Adipösen mit einer Fettmasse von mehr als 40 % im allgemeinen nicht mehr möglich.

Die Bestimmung der fettfreien Masse (FFM) und der Fettmasse (FM) aus der 24-Std.-Creatininausscheidung im Urin nach Miller und Blyth (35) ergab bei den 6 schlanken Männern in 3 Fällen bis zu 2 kg höhere, in 2 Fällen bis zu 4 kg niedrigere und in einem Fall identische Fettmassen im Vergleich zur Fettmasse aus den Calipermessungen (Tab. 8 und 9). Bei den 9 schlanken Frauen lag die Fettmasse in 8 Fällen bis zu 7 kg unter der Fettmasse, die sich aus den Calipermessungen errechnete. Nur in einem Fall war sie identisch. Die 4 kg Fettgewebe, die sich aus der 24-Std.-Creatininausscheidung bei einem Mann und einer Frau ermitteln ließen,

müssen als zu tief angesehen werden, da mindestens 6 kg Fett in Leber, Knochenmark, Gehirn usw. (30) enthalten sind. Diese 6 kg essentielles Fett werden bei der Dichtebestimmung, an der die Calipermethode geeicht ist, miterfaßt (1).

Bei den Creatininbestimmungsmethoden wirkt sich die Unzuverlässigkeit und der Aufwand der Sammeluriningewinnung nachteilig aus. Der Creatininwert und die sich daraus errechnende fettfreie Masse fallen zu hoch aus, wenn die Sammelbedingungen (minimale körperliche Aktivität und fleischfreie Ernährung) nicht eingehalten werden. Wie aus unseren Versuchen in Abschnitt 3.2.3 ersichtlich ist, eignen sich sowohl die kinetische Jaffé-Methode als auch die von uns modifizierte kinetische, enzymatische Methode zur Creatininbestimmung, da sie von den bekannten Störsubstanzen wie Glucose, α -Methyldopa, Acetoacetat und Pyruvat nicht beeinflußt werden.

Daß die fettfreie Körpermasse aus der Creatininausscheidung nur ungefähr zu bestimmen ist, zeigt die relativ hohe Standardabweichung der Einzelwerte von der Regressionsgeraden in Abb. 7 und 8, die für Männer $\pm 3,6$ kg und für Frauen $\pm 4,1$ kg beträgt. Deshalb scheint es sinnvoller, das "Idealgewicht" (vgl. S. 37, 38) über die Fettmasse zu bestimmen. Wegen ihrer hohen Zuverlässigkeit und der Einfachheit der Handhabung sind die Umfangs- und Calipermessungen die Methode der Wahl. Die Bestimmung der 24-Std.-

Creatininausscheidung sollte allenfalls nur ergänzend erfolgen.

Nach unseren Beobachtungen ergaben sich für idealgewichtige Personen im Alter von 20 bis 42 Jahren folgende Richtwerte für die Fettmasse:

schlanke Frauen besitzen 19 bis 28 % Fett ($\bar{x}$ = 23 %)

schlanke Männer besitzen 12 bis 21 % Fett ($\bar{x}$ = 15 %).

Dies deckt sich gut mit den Literaturangaben von Mayer (33, 34), Gries (21, 22) und der dem mittleren Metropolitan-Idealgewicht entsprechenden Fettmasse bei einem Metropolitan-Index von 1 (siehe Text). Nach Gries et al. (21, 22) darf die Fettmasse schlanker Frauen maximal 25 %, die schlanker Männer maximal 20 % des Körpergewichts betragen. Aus Tab. 4 und 5 geht hervor, daß 7 der insgesamt 30 nach dem Metropolitan-, Broca- und Massenindex idealgewichtigen Versuchspersonen leicht adipös sind. Ihr Idealgewicht ergibt sich aus einer erniedrigten fettfreien Masse und einer erhöhten Fettmasse. Diese Umverteilung wird von den Indizes nicht miterfaßt und kann nur durch die Bestimmung der Fettmasse erkannt werden. Sportlich aktive Versuchspersonen hatten eine erhöhte fettfreie Masse (Muskel- und Skelettmasse) und eine erniedrigte Fettmasse. Bei relativ gleicher Körpergröße (182 und 184 cm) und gleichem Gewicht (73 kg) hat die trainierte männliche Versuchsperson 8 kg und die untrainierte 15 kg Fett. Nach den Gewichtsindizes

und dem äußeren Aspekt waren beide idealgewichtig, während nach der Fettmasse die untrainierte Person grenzwertig adipös (21 % Fett) war. Dies bestätigte sich auch bei der Berechnung des Idealgewichts eines ehemaligen Boxers und Ringers (Körpergröße 188 cm, Körpergewicht 98 kg), das laut Metropolitan-Idealgewichtstabelle (48) bei 78 kg lag. Nach unserer Methode (vgl. Abschnitt 3.3.3) betrug seine fettfreie Masse, bedingt durch den athletischen Körperbau, 71 kg und es errechnete sich ein individuelles "Idealgewicht" (s. S. 50) von 85 kg. Dies entsprach auch seinem früheren Kampfgewicht. Es zeigt sich also, daß es mit der von uns entwickelten Methode möglich ist, speziell auch in Grenzfällen, die fettfreie Körpermasse (s. S. 32) und damit auch indirekt das "mittlere Idealgewicht" verlässlich zu bestimmen.

Für eine differenzierte Adipositasdiagnostik eignet sich nach unseren Versuchen in Abschnitt 3.4 auch die Vermessung subcutaner Fettzellen der Abdominalregion. Die in Abschnitt 3.4.1 erarbeiteten drei Richtwerte zur Fettzellbeurteilung ermöglichen es schon frühzeitig, eine Vermehrung des Fettgewebes zu erkennen. Dies ist nach unseren Beobachtungen der Fall, wenn bei schlanken Männern weniger als 95 % und bei schlanken Frauen weniger als 75 % der Zellen einen Fettgehalt von maximal 0,5 μg aufweisen. Fettzellen aus der Abdominalregion haben nach unseren Untersuchungen bei Schlanken einen Durchmesser von 40 bis 90 μm und bei Adipösen bis zu 130 μm .

Vielfach versuchte man, aus der gleichzeitigen Bestimmung der gesamten Fettmasse im Organismus und des Fettgehalts einzelner Fettzellen die Gesamtfettzellzahl des Körpers zu ermitteln. Die so erhaltenen Werte liegen bei etwa 40 Milliarden (3, 7) mit erheblichen Schwankungen von 27 bis 84 Milliarden. Sjöström et al. (43) entschieden sich zusätzlich für die Bestimmung einer regionalen Fettzellzahl. Dabei bestimmten sie aus dem mittleren Fettzellvolumen und der Schichtdicke des Fettgewebes die Anzahl an Fettzellen, die in einer Gewebsstanze von 1 x 1 mm Platz finden. Diese Berechnung wird jedoch durch die Probleme der dreidimensionalen Betrachtungsweise erschwert. Sie erfordert nach Sjöström et al. (43) für die Bestimmung des mittleren Zellvolumens aus dem mittleren Zelldurchmesser folgende Gleichung:

$$\text{Volumen (nl)} = 1000 \pi/6 \cdot 3s^2d + d^3 \quad \text{mit}$$

d = Durchmesser und s = Standardabweichung.

Der in Abschnitt 3.4.2 vorgeschlagene regionale Fettzellindex errechnet sich nur aus dem Quotienten aus Schichtdicke und Zelldurchmesser.

Die Messungen der Fettzelldurchmesser in verschiedenen Körperregionen (siehe Abschnitt 3.4.2) zeigen, daß bei Adipösen vor allem die Zellen der Abdominal- und Omentalregion an Größe zunehmen, während die der Femoral- und Glutäalregion relativ konstant bleiben. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von Smith et al. (45). Wichtig

ist es, die Zellen im Zentrum der Gewebprobe zu vermessen.

Bei den Adipösen waren Riesenzellen mit Durchmessern von mehr als 140 μm charakteristisch. Weniger als 50 % der Zellen enthielten einen Lipidgehalt von $\leq 0,5 \mu\text{g}$; alle anderen verteilten sich fast gleichmäßig auf die beiden anderen Gruppen ($0,5-0,7 \mu\text{g}$ und $> 0,7 \mu\text{g}$). Nach einer Reduktionsdiät verschiebt sich das Fettzellmuster erst in die Gruppe $\leq 0,5 \mu\text{g}$, wenn sich das Körpergewicht zu normalisieren beginnt.

In Tab. 26 sind Beispiele zusammengestellt, wie sich die mit Calipermessungen nach Durnin und Womersley (15) ermittelte Fettmasse adipöser Personen (siehe Tab. 19 in Abschnitt 3.5) bei Erreichen ihres Metropolitan-Idealgewichts verändern müßte.

In den beiden ersten Fällen müßten die Patienten 58 bzw. 59 kg abnehmen. Sie verfügen jedoch nur über 47 bzw. 43 kg subcutanes Fettgewebe, da mindestens 6 kg essentielles Organfett sind (30). In den letzten 5 Fällen ist die Fettmasse auch nach Erreichen des Metropolitan-Idealgewichts noch um bis zu 8 kg über den Empfehlungen von Mayer (33, 34).

Bei wesentlich Übergewichtigen lieferten die Umfangsmessungen nur bedingt richtige Aussagen, da es keine Umfänge gibt, die bei ausgeprägter Fettzellvermehrung nur von Muskulatur und Skelett gebildet werden. Darüber hinaus hat der adipöse Körper auch nicht mehr die geforderte Dichte des

Tab. 26: Fettmasse (kg) adipöser Patienten vor (A) und nach (B) Erreichen des Metropolitan-Idealgewichts

Geschlecht	Größe	Gewicht	Metropol.- Idealgew.	Diffe- renz	A	B
(m/w)	(cm)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
w	168	120	62	58	53	- 5
m	182	135	76	59	49	-10
m	170	95	67	28	31	3
m	190	92	85	7	21	14
m	173	76	69	7	22	15
w	168	80	62	18	34	16
w	167	80	61	19	35	16
m	176	84	71	7	25	18
m	182	80	76	4	23	19
m	186	87	80	7	30	23

Referenzkörpers (12, 30) von $1,064 \text{ g/cm}^3$. Es errechnet sich eine zu hohe fettfreie Masse und eine zu geringe Fettmasse. Genaue Aussagen kann man erst nach einer Gewichtsreduktion machen. Die von uns in Abschnitt 3.3.5 ermittelten unteren und oberen Grenzgewichte sind somit nur bei schlanken und grenzwertig adipösen Männern und Frauen zu bestimmen. Dies gilt auch für die Bestimmung des "mittleren Idealgewichts". Die Umfangsmessung ist somit die Methode der Wahl für schwierig einzuordnende Patienten und eignet sich jedoch nicht für Untersuchungen an augenfällig übergewichtigen Personen. Eine verfeinerte Adipositasdiagnostik ist bei diesem Personenkreis ohnehin unnötig.

Auffallend bei den Fettzellmessungen an schlanken Kindern war, daß mindestens 92 % der Zellen $\leq 0,5 \mu\text{g}$ waren. Bei den adipösen waren es nur maximal 78 %. Die Ergebnisse der Caliper- und Fettzellmessungen an Kindern sollten vorsichtig interpretiert werden, da der Umfang unserer eigenen Daten gering ist und auch in der Literatur nur wenige Vergleichsmessungen zu finden sind. Es muß weiteren epidemiologischen Studien vorbehalten bleiben, genauere Aussagen über Fettzellverteilung und ideale Fettmasse bei Kindern zu machen.

Zur Beurteilung einer grenzwertigen Adipositas hat sich die Calipermethode bewährt. Einfacher, bei gleicher Aussagekraft bei dieser Patientengruppe kann die hier vorgestellte anthropometrische Methode mit der Umfangsmessung weitgehend fettfreier Körperteile empfohlen werden.

Die vorliegende Arbeit zeigt, daß auch der nicht spezialisierte Arzt mit den von uns vorgestellten einfachen Methoden eine differenzierte Adipositasdiagnostik durchführen kann. Unsere mit einem vertretbaren Aufwand an Arbeit und Zeit gewonnenen Ergebnisse stehen im Einklang mit den Befunden anderer Untersucher, die dafür jedoch einen hohen technischen bzw. zeitlichen Aufwand benötigen.

5.0 ZUSAMMENFASSUNG

Die allgemein üblichen Gewichtsindizes wie z.B. der Broca-, Massen- und Metropolitanindex errechnen sich aus der Körpergröße und dem Körpergewicht. Mit ihrer Hilfe kann man zwar ein Übergewicht feststellen, nicht jedoch differenzieren, ob dieses durch einen höheren Anteil an fettfreier Masse oder durch Zunahme an Fettmasse entstanden ist. Deshalb ist es sinnvoller, das "Idealgewicht" über die Fettmasse zu bestimmen. Diese wurde in unseren Versuchen mit der Calipermethode nach Durnin und Womersley (15) auf einfache Weise direkt ermittelt. Indirekt wurde sie über die Bestimmung der fettfreien Masse aus der 24-Std.-Creatinin-ausscheidung im Urin nach Miller und Blyth (35) sowie einer von uns entwickelten anthropometrischen Methode zur Bestimmung der fettfreien Masse mit Maßband und Waage ermittelt.

In Übereinstimmung mit Literaturangaben (7, 22, 31, 44) ergaben sich für idealgewichtige, schlanke Personen im Alter von 20 bis 42 Jahren folgende Richtwerte:

schlanke Frauen besitzen 19 bis 28 % Fett ($\bar{x}$ = 23 %)

schlanke Männer besitzen 12 bis 21 % Fett ($\bar{x}$ = 15 %)

Für die Creatininbestimmung im Urin wurde eine kinetische, enzymatische Bestimmungsmethode, die die Geschwindigkeit und Einfachheit der kinetischen Bestimmung mit der Spezifität der enzymatischen Methode verbindet, entwickelt.

Aus der fettfreien Masse errechneten wir unter Annahme einer "idealen Fettmasse", die unseren Richtwerten entspricht, eine Formel zur Bestimmung eines mittleren Idealgewichts aus der Körpergröße (h) und verschiedenen Umfängen (s):

mittleres Idealgewicht schlanker Männer:

$$3,6 s^2 h + 15$$

mittleres Idealgewicht schlanker Frauen:

$$3,9 s^2 h + 12$$

Außerdem wurde ein Verfahren entwickelt, das es erlaubt, innerhalb von ca. 20 Minuten ambulant eine Fettzellprobe zu entnehmen und die Fettzellgröße sowie den regionalen Fettzellindex zu bestimmen. Aus unseren Versuchen ergab sich, daß schlanke Frauen mehr als 75 %, schlanke Männer mehr als 95 % und schlanke Kinder mehr als 92 % kleine Fettzellen mit einem Fettgehalt von maximal 0,5 µg besitzen. Adipöse Erwachsene haben weniger als 50 %, adipöse Kinder weniger als 78 % kleine Fettzellen. Unter Reduktionsdiät verschiebt sich das Fettzellmuster erst in die Gruppe $\leq 0,5$ µg, wenn sich das Körpergewicht weitgehend normalisiert hat.

6.0 LITERATUR

1. Allen, T.H., Peng, M.T., Chen, K.P., Hung, R.F., Chang, C., Fang, H.S.: Prediction of total adiposity from skinfolds and the curvilinear relationship between external and internal adiposity. *Metabolism* 5, 346-352, 1956.
2. Behnke, A.R.: Anthropometric evaluation of body composition throughout life. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110: 450-464, 1963.
3. Björntorp, P.: Effects of age, sex and clinical conditions on adipose tissue cellularity in man. *Metabolism* 23, 1091-1102, 1974.
4. Björntorp, P.: Renaissance of a new frontier in obesity research. *Acta med. Scand.* 196, 145-147, 1974.
5. Björntorp, P., Carlgren, G., Isaaksson, B., Krotkieswki, M., Larsson, B., Sjöström, L.: Effect of an energy-reduced dietary regimen in relation to adipose tissue cellularity in obese women. *Am. J. Clin. Nutr.* 28, 445-452, 1975.
6. Björntorp, P., Holm, G., Jacobsen, Bo et al.: Physical Training in Human Hyperplastic Obesity. IV. Effects on the Hormonal Status. *Metabolism*, Vol. 26, 319-328, 1977.
7. Björntorp, P., Sjöström, L.: The number and size of adipose tissue fat cells in relation to metabolism in human obesity. *Metabolism* 20, 703, 1971.
8. Bornhardt, A.: Die Körperwägungen der Einberufenen als Mittel zur Bestimmung der Tauglichkeit zum Militärdienst. *Sankt Petersburger Medizinische Wochenschrift* 11, 108-109, 1886.
9. Bowers, L.D., Wong, E.T.: Kinetic Serum Creatinine

- Assays. II. A Critical Evaluation and Review. Clin. Chem. 26, 555-561, 1980.
10. Bray, G.A.: Measurement of subcutaneous fat cells from obese patients. Ann. intern. Med. 73, 565-569, 1970.
 11. Bray, G.A.: The obese patient. Saunders, Philadelphia, 1976.
 12. Brozek, J., Grande, F., Anderson, J.T. and Keys, A.: Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. Ann. N. Y. Acad. Sci., 110: 113-140, 1963.
 13. Bürmeister, W.: Eine neue Methode zur Bestimmung der Körperzellmasse. Klin. Wschr. 43, 750-751, 1965.
 14. Corsa, L., Jr., Olney, L.M., Steenburg, R.W., Ball, M.R. and Moore, F.D.: The measurement of exchangeable potassium in man by isotope dilution. J. Clin. Invest., 29: 1280-1295, 1950.
 15. Durnin, J.V.G.A. and Womersley, J.: Body fat assessed from total body density and its estimation from skin-fold thickness: Measurement on 481 men and women aged from 16 to 72 years. Brit. J. Nutr., 32: 77-97, 1974.
 16. Forbes, R.M., Cooper, A.R. and Mitchell, H.H.: The composition of the adult human body as determined by chemical analysis. J. Biol. Chem., 203: 359-366, 1953.
 17. Forbes, G.B. and Bruining, G.J.: Urinary creatinine excretion and lean body mass. Am. J. clin. Nutr. 29: 1359, 1976.
 18. Forbes, R.M., Mitchell, H.H., and Cooper, A.R.: Further studies on the gross composition and mineral elements of the adult human body. J. Biol. Chem., 223: 969-975, 1956.
 19. François, B.: Makeshift Determination Of Total Body

- Fat. In Vague et al.: Physiopathology of adipose tissue. p. 349-359. Amsterdam: Excerpta Medica, 1969.
20. Graystone, J., Seitchik, J., Milch, R., Shulman, G.P. and Cheek, D.B.: Measurement Of D_2O in plasma water by freezing point elevation, falling drop, infra-red absorption, and gas chromatography. *LJ. Lab. & Clin. Med.*, 69: 885-892, 1967.
 21. Gries, F.A., Berchthold, P., Berger, M.: *Adipositas*. Springer, Berlin, 5, 1976.
 22. Gries, F.A., Daweke, H., Liebermeister, H.: Diabetes mellitus bei Fettsucht. *Verh. dtsch. Ges. inn. Med.* 76, 51, 1970.
 23. Gundersen, K. and Shen, G.: Total body water in obesity. *Am. J. Clin. Nutr.*, 19: 77-83, 1966.
 24. Harper, H.A., Löffler, G., Petrides, P.E., Weiss, L.: *Physiologische Chemie* 802, Springer, Berlin, 1975.
 25. Hirsch, J., Knittle, J.L., Salans, L.B.: Cell lipid content and cell number in obese and non-obese human adipose tissue. *J. clin. Invest.* 45, 1023, 1966.
 26. Hytten, F.E., Taylor, K. and Taggart, N.: Measurement of total body fat in man by absorption of ^{85}Kr . *Clin. Sci.*, 31: 111-119, 1966.
 27. Jaffé, M.: Über den Niederschlag, welchen Pikrinsäure in normalem Harn erzeugt und über eine neue Reaktion des Creatinins. *Z. physiol. Chem.* 10: 391, 1896.
 28. Keys, A., Grande, F.: Body weight, body composition and calorie status. In: Goodhart, R.S., Shils, M.E. (eds.): *Modern Nutrition in Health and Disease*. 1-27, Philadelphia: Lea u. Febiger, 1973.
 29. Kjellberg, J., Reizenstein, P.: Body composition in obesity. *Acta Med. Scand.* 188, 161-169, 1970.
 30. Kolb, E.: In *Biochemisches Taschenbuch*. Rauen, H.M.,

(ed.), Bd. 2, 332, Springer, Berlin.

31. Krotkiewski, M., Björntorp, P., Sjöström, L.: Regional variation of fat cell size in young, middle-aged and obese women. In: Howard, A. (ed.): Recent advances in obesity research I. p. 97-100. London: Newman, Publ. 1975.
32. Lesser, G.T., Deutsch, S., Markowsky, J.: Use of independent measurement of body fat to evaluate overweight. *Metabolism* 20, 792-804, 1971.
33. Mayer, J.: Some advances in the study of the physiologic basis of obesity. *Metabolism* 6, 435, 1957.
34. Mayer, J., Thomas, D.W.: Regulation of food intake and obesity. *Science* 156, 328, 1967.
35. Miller, A.T. and Blyth: Estimation of lean body mass and body fat from basal oxygen consumption and creatinine excretion. *J. Appl. Physiol.* 5, 73, 1952.
36. Moore, F.D. and Boyden, C.M.: Body cell mass and limits of Hydration of the fat-free body: their relation to estimate skeletal weight. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 110, 62, 1963.
37. Moore, F.D., Olesen, K.H., McMurrey, J.D., Parker, H.V., Ball, M.R., Boyden, C.M.: The body cell mass and its supporting environment. Body composition in health and disease. Philadelphia-Londeom: W.B. Saunders Co. 1963.
38. Quoidbach: Evaluation Of Body Composition In Obesity Using Isotope Solution. In: Vague et al.: *Physiopathology of adipose tissue*. p. 302-316. Amsterdam: Excerpta Medica, 1969.
39. Reinken et al.: Adipositasdiagnostik im Kindesalter. *Klin. Päd.* 192, 34-38, 1980 und 192, 25-33, 1980.

40. Richterich, R. und Colombo, J.P.: Klinische Chemie. S. Karger, 4. Auflage, 548-558, 1978.
41. Salans, L.B., Cushman, S.W., Weisman, R.E.: Studies of human adipose tissue adipose cell size and number in non-obese and obese patients. J. clin. Invest. 52, 929-941, 1973.
42. Salans, L.B. Horton, E.S., Sims, E.A.H.: Experimental obesity in man: Cellular character of adipose tissue. J. clin. Invest. 50, 1005-1011, 1971.
43. Sjöström, L., Björntorp, P., Vrana, J.: Microscopic fat cell size measurements of frozen-cut adipose tissue in comparison with automatic determination of osmium-fixed fat cells. L. Lipid Res. 12, 521-530, 1971.
44. Sjöström, L., Smith, U., Krotkiewski, M., Björntrop, P.: Cellularity in different regions of adipose tissue in young men and women. Metabolism 21, 1143-1153, 1972.
45. Smith, U., Hammersten, J., Björntrop, P., Kral, J.G.: Regional differences and effect of weight reduction on human fat cell metabolism. European J. of Clin. Investigation 9, 327-332, 1979.
46. Wahlefeld, A.W., Holz, G. und Bergmeyer, H.U.: Methoden der enzymatischen Analyse, 3. Aufl., Bd. II, Verlag Chemie, Weilheim, 1834-1838, 1974.
47. Walsh, G.C., Carruthers, B.M., Seraglia, M. and Olson, M.: Determination of total body water by deuterium oxide dilution and cryoscopy. J. Clin. Med., 72: 836-841, 1968.
48. Wissenschaftliche Tabellen, Geigy Pharmazeutica, Wehr, 1968.

Herrn Prof. Dr. med. Ludwig Weiss, Chefarzt des Klinisch-chemischen Instituts im Städtischen Krankenhaus München Harlaching, danke ich für die Themenstellung, die Anregungen zu dieser Arbeit, seinen wertvollen Rat und die großzügige, persönliche Förderung.

Ebenfalls besonders danken möchte ich Herrn Dr. med. Georg Hoffmann für die fruchtbaren Diskussionen und der stets wohlwollenden, hilfreichen Unterstützung.

Besonderen Dank schulde ich auch allen Kolleginnen und Kollegen des Städt. Krankenhauses für Naturheilweisen, insbesondere Herrn Chefarzt Dr. med. W. Zimmermann und den Kollegen des Pathologischen Instituts des Städt. Krankenhauses München Harlaching und dessen Chefarzt Herrn Priv. Doz. Dr. B. Stampfl.

Allen Assistentinnen des Instituts, die mich in dieser Arbeit unterstützt haben, sei mein herzlicher Dank ausgesprochen.

LEBENS LAUF

Am 08. Dezember 1955 wurde ich als drittes Kind des Arztes Dr. med. Heinrich Müller und seiner Ehefrau Hedwig Müller, geb. Tarnowski, in Trier geboren.

Von 1962 bis 1966 besuchte ich die Volksschule St. Barbara in Trier. Danach Besuch des Hindenburg-Gymnasiums und ab 1975 des Augusta-Viktoria-Gymnasiums Trier, wo ich am 16. Juni 1976 die Reifeprüfung ablegte.

Zum Wintersemester 1977/78 begann ich das Studium der Humanmedizin an der Universität Saarbrücken. Ab dem Wintersemester 1978/79 Medizinstudium an der Universität Düsseldorf. Sommersemester 1981 Wechsel an die Ludwig-Maximilians-Universität München.

Im April 1981 Beginn der experimentellen Arbeiten zur Promotionsarbeit.

März bis Mai 1984 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Am 16. Mai 1984 erhielt ich meine Approbation als Arzt.

Juni 1984 Assistent in der Praxis für Allgemeinmedizin bei Dr. med. Heinrich Müller in Trier.

Ab Juli 1984 Assistent in der Inneren Abteilung des Herz-Jesu-Krankenhauses Trier, Chefarzt Dr. Traumann.

